

Technische Universität Graz
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

**Bewertung des Hochwasserrisikos im
städtischen Bereich
am Fallbeispiel Schöckelbach
und Bad Radkersburg**

**Masterarbeit
von
Walter Reisenauer**

Vorgelegt zur Erlangung des
akademischen Grades des Master
der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

Graz, im Frühling 2012

Betreuer der Masterarbeit:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald ZENZ

.....

Mitbetreuende Assistentin:
Dipl.-Ing. Simone ZECHNER

.....

Eid (Ehrenwörtliche Erklärung)

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, im Frühling 2012

.....

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, die dazu beigetragen haben, diese Arbeit zu vollenden.

Ein herzliches Dankeschön gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Zenz und dem gesamten Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung bei dieser Masterarbeit.

Einen besonderen Dank möchte ich an meine Betreuerin Dipl.-Ing. Simone Zechner richten. Sie stand mir während der gesamten Masterarbeit mit Rat und Tat zu Seite und hatte stets ein offenes Ohr für mich. Danke für die Geduld und Hilfe sowie die motivierenden Worte, aus denen ich viel Kraft schöpfen konnte.

Darüber hinaus bedanke ich mich recht herzlich bei Mag.rer.nat. Cornelia Jöbstl für die Einweisung und kompetente Unterstützung im Programm ArcGIS.

Zudem möchte ich mich auch bei Mag. Martina Rastel recht herzlich für ihre Korrekturlesearbeit bedanken.

Ein liebevolles Dankeschön möchte ich außerdem an meine Freundin Petra richten. Danke, dass du immer für mich da bist und an mich und meine Fähigkeiten glaubst. Danke für deine Geduld und deine inspirierenden Worte, die mir das Schreiben dieser Arbeit erleichterten.

Den größten Dank aber möchte ich meinen Eltern, Großeltern und Geschwistern widmen, ohne deren Zuspruch, finanzielle und mentale Hilfe ich es nie so weit gebracht hätte. Danke für euren Glauben an mich.

Kurzfassung

Die Aufgabe dieser Arbeit besteht darin, die Ermittlung des Hochwasserschadenspotentials für den Schöckelbach und die Stadtgemeinde Bad Radkersburg durchzuführen.

Zuerst wird die Problematik von Hochwasser allgemein aufgegriffen, danach folgt eine Auseinandersetzung zum Thema Risikobewertung.

Da der Schöckelbach in jüngerer Vergangenheit immer wieder über die Ufer getreten ist, wurde mit dem Ausbau des Bachlaufes begonnen. Dadurch ergaben sich neue Abflussverhältnisse. Diese werden in der stationären 1D Berechnung mitberücksichtigt. Aus den Ergebnissen der 1D Berechnung werden die Wasserstandshöhen mit einem digitalen Geländemodell in ArcGIS verschnitten.

Aufgrund der geografischen Gegebenheiten, des orografisch rechts leicht abfallenden Geländes und der stationäre 1D Berechnung, kann der genaue Verlauf des Hochwasserabflusses nicht bestimmt werden und die daraus ermittelten Überflutungsflächen würden unrealistische Größen annehmen. Für diese Problemstellung muss eine instationäre 2D Berechnung herangezogen werden.

Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit auf die Risikoberechnung für den Schöckelbach nicht Bezug genommen. Im Zuge der Arbeit wird die Risikoberechnung nach SUFRI an dem Fallbeispiel Bad Radkersburg durchgeführt, aufbauend auf bereits vorhandenen Datengrundlagen.

Abstract

The main idea of this master thesis is the evaluation of flood potentials depending on Schöckelbach and the urban commune of Bad Radkersburg.

At first the basic concept of flood and risk assessment will be discussed.

In the recent past the river Schöckelbach often passed over the shore. Therefore, people began to support the creek and protect the area and their inhabitants from the danger of flood. Thus, the flow ratio changed. These new conditions will be considered in the steady-state 1D calculation. The results of the 1D calculation are used to blend the water-level's height with a digital surface evaluation model in ArcGIS.

Because of the geographic circumstances and the 1D calculation it is not possible to achieve realistic results and a serious risk calculation can't be arranged accordingly. However, a good risk evaluation on the basis of the method of SU-FRI is carried out by focusing on the case study of Bad Radkersburg.

Due to the fact that risk evaluation analysis results already exist from Bad Radkersburg, these solutions show good comparable results with the assessment of the method of SUFRI.

Inhaltsverzeichnis

Eid (Ehrenwörtliche Erklärung).....	iii
Danksagung.....	iv
Kurzfassung.....	v
Abstract.....	vi
Inhaltsverzeichnis.....	vii
1. Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Ziele der Masterarbeit.....	3
2. Naturkatastrophen - Hochwasser.....	7
2.1 Hochwasser allgemein.....	8
2.2 Ursachen und Entstehung von Hochwasser.....	11
2.3 Hochwasserschutz - unterschiedliche Maßnahmen.....	14
2.3.1 Allgemein.....	14
2.3.2 Passive/Nicht-bauliche Maßnahmen.....	15
2.3.3 Aktive/Bauliche Maßnahmen.....	17
2.4 Restrisiko.....	24
3. Risikobewertung.....	26
3.1 Allgemeines zu Risiko.....	26
3.2 Unterschiedliche Ansätze und Methoden zur Abschätzung von Risiken.....	30
3.2.1 Statistische Analyse von historischen Ereignissen und Beobachtungsdaten.....	30
3.2.2 Modellierung von Schadenszenarien.....	31
3.2.3 Expertenmeinung.....	32
3.3 Risikodarstellung.....	33
3.4 Unsicherheiten und Fehlerquellen.....	33
3.5 SUFRI - Methode zur Risikobewertung von pluvialem und fluvialem Hochwasser in städtischen Bereichen (Quantitative Methode).....	35
3.5.1 Einzelne Schritte - Ablauf der Methode.....	37

4. Fallbeispiel: Schöckelbach.....	45
4.1 Projektgebiet.....	45
4.2 Datengrundlagen	46
4.3 Abflussberechnung	47
4.3.1 Software HEC-RAS.....	47
4.3.2 ArcGIS	54
4.4 Risikoberechnung	57
4.5 Ergebnisse.....	60
5. Fallbeispiel: Bad Radkersburg	61
5.1 Projektgebiet.....	61
5.2 Datengrundlagen	63
5.3 Abflussberechnung	63
5.4 ArcGIS	64
5.5 Risikoberechnung	67
5.6 Risikomodell	71
5.7 Ergebnisse.....	72
6. Gesamtresümee und Ausblick	76
Abkürzungsverzeichnis	77
Literaturverzeichnis	79
Abbildungsverzeichnis	84
Tabellenverzeichnis	86

1. Einleitung

Schöckelbach im August 2009: „Keller und Tiefgaragen wurden überflutet, vor den Häusern geparkte Autos standen bis zur Windschutzscheibe unter Wasser. Auf Straßen, Radwegen, Wiesenflächen schossen den Anrainern die Wassermassen entgegen. [...]“¹



Abbildung 1: Hochwasser im August 2009 am Schöckelbach in Graz.²

Diese und ähnliche Meldungen von Umweltkatastrophen prägen das Bild unserer Tageszeitungen. Hochwasser, Tsunamis, Erdbeben, Vulkanausbrüche und vieles mehr bedrohen immer häufiger unsere Gesellschaft. Um auf solche Ereignisse vorbereitet zu sein und somit Schäden zu vermeiden und Leben zu

¹ HECKE B., MARCHER D.: URL:

<http://www.kleinezeitung.at/steiermark/grazumgebung/weinitzen/2113937/naechtlisches-unwetter-hinterlaesst-chaos.story> [Stand: 15.01.2012].

² WASSERLAND STEIERMARK. Die Wasserzeitschrift der Steiermark: SUFRI Nachhaltige Strategien für Hochwasserschutzmanagement in Städten zur Beherrschung des Restrisikos mit nicht-technischen Maßnahmen. S16 - 19 Heft 1, Graz: Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark, 2010: URL:

http://www.wasserland.steiermark.at/cms/dokumente/10046052_1356921/a58149cf/wasserland_1_2010_ak2.pdf [Stand: 17.01.2012].

retten, ist es notwendig, Gefahrenquellen zu erkennen, deren Auswirkungen abzuschätzen und nach Möglichkeit Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

Hochwasserereignisse und „große Überschwemmungen sind jedoch für die Natur und die Menschheit nichts Neues.“³ Allerdings müssen wir lernen, mit der Natur und ihren Bedürfnissen besser umzugehen. Tatsache ist, dass Menschen immer mehr Gebiete bebauen, die früher den Flüssen als Überschwemmungsflächen zur Verfügung standen. Kommt es in diesen Gebieten zu Extremereignissen, kann sich der Fluss nicht mehr ungehindert ausbreiten und der vom Menschen eingenommene Lebensraum wird bedroht.

Die Dringlichkeit und Notwendigkeit einer Hochwasserrisikoanalyse lässt sich auch in den Richtlinien des Europäischen Parlaments erkennen. In den Schriften wird für eine ordnungsgemäße Auseinandersetzung mit der Problematik von Hochwasserereignissen plädiert. Dazu fordert der Europäische Rat in der Richtlinie 2007/60/EG alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union zur Erstellung von Hochwassergefahrenkarten sowie Hochwasserrisikokarten bis zum 22. Dezember 2013 auf.⁴

1.1 Problemstellung

Hochwasserereignisse sind natürliche Vorgänge der Natur, jedoch werden sie vom Menschen zusätzlich negativ beeinflusst. Wälder werden abgeholzt, Verkehrswege ausgebaut, Siedlungen erweitert und immer mehr Grünflächen verbaut. Diese Veränderungen bewirken, dass Regenwasser nicht mehr versickern und im Boden gespeichert werden kann. Somit wird bei Wetterextremen das Wasser an der Oberfläche abgeführt und kann nicht mehr im Boden aufgenommen werden. Dies hat zur Folge, dass das Risiko von Hochwasser unvermeidbar steigt.

³ KRÄINER R.: Möglichkeiten und Grenzen des Hochwasserschutzes - Risikoabschätzung und -bewertung am Beispiel von Hochwasserrückhaltebecken. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz. Graz, 2003. S. 1.

⁴ Vgl. Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007.

Weitere Faktoren für die Entstehung von Hochwasser sind die Begradigung und Verbauung von Bächen und Flüssen. Durch sie steigt die Fließgeschwindigkeit des Wassers. Lokal betrachtet verringert sich zwar das Risiko von Hochwasserereignissen, allerdings gelangt durch die Beschleunigung das Wasser schneller in den Unterlauf. Daher werden die Wassermassen in den tiefliegenden Gebieten immer größer, wodurch die Gefahr einer Hochwasserkatastrophe steigt.

Viele dieser Faktoren treffen in Städten zusammen, denn hier sind Bäche und Flüsse zumeist stark begradigt und verbaut. Dadurch hat das Gewässer keinen Platz sich auszubreiten. Diese beengten Raumverhältnisse stellen die größten Probleme bei der Beherrschung von Hochwasser in Städten dar.

1.2 Ziele der Masterarbeit

Im Vergleich zu ländlichen Gebieten ist die Bevölkerungsdichte in Städten sehr hoch. Da die Grundstückspreise dementsprechend hoch sind, versucht man im urbanen Raum, auf wenigen Quadratmetern viel Platz zu schaffen. Mehrstöckige Häuser, Hochhäuser sowie die Errichtung von Tiefbauten tragen dazu bei, den städtischen Raum bestmöglich zu nutzen. Trotz allem bleibt es nicht aus, über den Stadtrand hinaus das urbane Gebiet zu erweitern. Dort wo einst Grünflächen und Naherholungsgebiete die Umwelt zierten, prägen nun große Industriegebiete, Wohnsiedlungen und Einkaufszentren das Bild der Landschaft.

Dieses Szenario wird insbesondere am Beispiel der Siedlungsentwicklung der Stadt Graz deutlich. Wie die folgende Abbildung 2 zeigt, hat sich die Nutzungsfläche der Stadt seit 1869 bis 2005 immens vergrößert. HORNICH und WIENER versuchen darüber hinaus das Ausmaß der Siedlungsentwicklung der Stadt Graz bis ins Jahr 2050 zu prognostizieren.

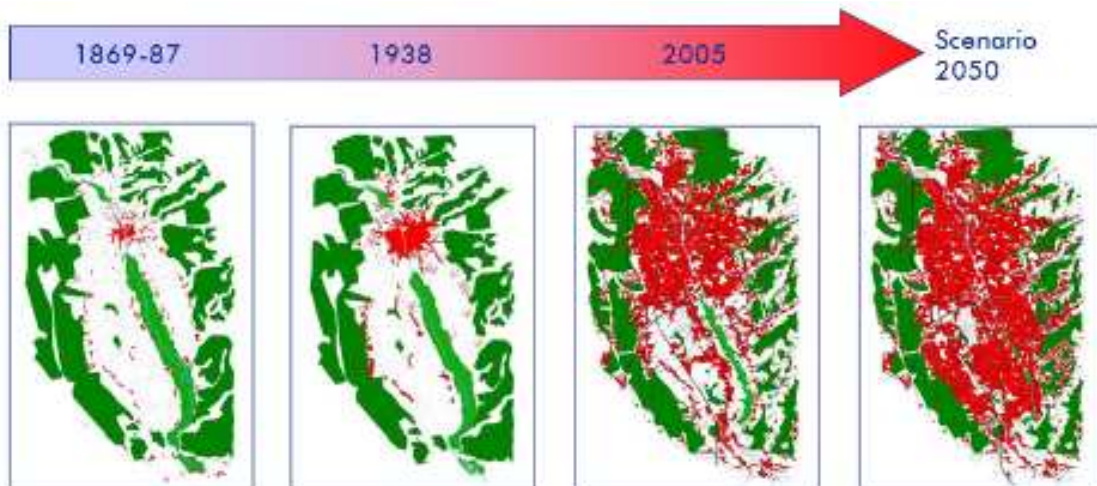


Abbildung 2 Siedlungsentwicklung von Graz⁵

Aufgrund der enormen Ausdehnung der bebauten Flächen ist es unvermeidbar, Gebäude in der Nähe von Flüssen zu errichten. Allerdings wird zu wenig darauf geachtet, wo sich Hochwasseranschlaglinien befinden und wie viel Landflächen somit von Hochwasser betroffen sein könnten. Außerdem wird durch die Bebauung von Bächen und Flüssen die Flussmorphologie und in weiterer Folge das Verhalten des Flusses bei Hochwasser verändert. Neue unerwartete Probleme können entstehen.

Um die Ausmaße eines Hochwassers zu ermitteln und in Folge einen Risikomanagementplan auszuarbeiten, haben sich verschiedene Forschungsgruppen gebildet. Unter anderem ist das internationale Forschungsprojekt SUFRI (Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management with non-structural measures to cope with the residual risk) entstanden (2009-2011). Insgesamt waren sechs Projektpartner aus vier verschiedenen europäischen Ländern beteiligt. Ziel des Forschungsprojektes war es, „*Nachhaltige Strategien für das*

⁵ HORNICH R., WIENER R.: 4. Grazer Bäche-Enquete. Graz. 2007.

*Hochwasserschutzmanagement in Städten zur Beherrschung des Restrisikos mit nicht-baulichen Maßnahmen*⁶ zu entwickeln.

Im Zuge dieses Forschungsprojektes wurde eine Methodik zur Risikobewertung von pluvialem und fluvialem Hochwasser in städtischen Bereichen als Informationsgrundlage für Entscheidungsträger entwickelt. Dabei werden die Ergebnisse der Risikoberechnung mittels Kurvendiagrammen, sogenannten F-N°-Grafen (Darstellung „Eintrittswahrscheinlichkeit - Verlust an Menschenleben“) und F-D°-Grafen (Darstellung „Eintrittswahrscheinlichkeit - Ökonomischer Schaden“) grafisch dargestellt. So kann man den Effekt unterschiedlicher Maßnahmen zur Risikoreduktion veranschaulichen.

Diese Arbeit liefert einen Überblick über Hochwasser im Allgemeinen, dessen Ursachen und Entstehung, sowie mögliche Schutzmaßnahmen. Des Weiteren wird auf das Restrisiko hingewiesen und unterschiedliche Ansätze von Risikobewertung aufgegriffen.

Der Hauptteil der Masterarbeit besteht darin, die Methodik des Forschungsprojektes SUFRI am Fallbeispiel des Schöckelbachs und in weiterer Folge am Fallbeispiel Bad Radkersburg anzuwenden. Dabei wird zuerst eine Abflussberechnung mit dem Computerprogramm HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) durchgeführt, wofür ein Geländemodell erstellt und mit hydrologische Daten beaufschlagt wird. Nach der Ermittlung der Wasserhöhen und Geschwindigkeit für unterschiedliche Abflüsse wird ein Zonenplan erstellt und aufbauend auf diesen Ergebnissen die Risikoberechnung durchgeführt.

Ziel ist es, die durch Hochwasser entstehenden Schäden in Abhängigkeit unterschiedlicher Schutzmaßnahmen aufzugreifen.

In Hinblick auf die aktuelle Forschungsarbeit im Bereich des Hochwassermanagements können diese Ergebnisse einen wertvollen Teil zur Verbesserung des

⁶ JÖBSTL C., KNOBLAUCH H., ZECHNER S.(Hrsg.): SUFRI. Kurzfassung des Endberichtes.
URL:
http://www.sufri.tugraz.at/images/stories/downloads/reports/sufri_endbericht_kurzfassung_gesamt.pdf [Stand: 29.01.2012]. S. 1.

Risikomanagements beitragen. Die Auseinandersetzung mit der Problematik von Hochwasser im urbanen Raum gilt daher als grundlegendes Ziel der Masterarbeit.

2. Naturkatastrophen - Hochwasser

Immer schon gelten Naturkatastrophen wie Hochwasser, Lawinen, Tsunamis oder Vulkanausbrüche als natürliche Erscheinungen. In unbesiedelten Gebieten haben derartige Ereignisse für den Menschen keine bedrohlichen Folgen. Geschehen sie allerdings in dicht besiedelten Lebensräumen von Menschen, können sie fatale Auswirkungen mit sich bringen. FRISCH spricht in diesem Zusammenhang vom Wandel der Naturgefahr zur Naturkatastrophe. *„Katastrophen kennt allein der Mensch, wenn er sie überlebt; die Natur kennt keine Katastrophen.“*⁷ Es gehört daher zu unserer Aufgabe, mit dem „Leben mit Naturgefahren“ richtig umgehen zu lernen. Das heißt, die Natur mit all ihren Schönheiten und Gefahren zu schätzen und zu akzeptieren.⁸

Ähnlich spricht auch das Bayerische Landesamt für Umwelt vom Hochwasser als natürliche Erscheinung des Wasserkreislaufes: *„Nicht Menschenhand, sondern die Natur selbst verursacht dieses Phänomen.“*⁹ Daraus lässt sich schließen, dass Hochwasser nicht einfach verhindert werden können.

In Gebieten, die vom Menschen dicht besiedelt werden, sind demnach entsprechende Schutzmaßnahmen erforderlich. Dazu gehört einerseits der Schutz des Menschen, ökonomischer Werte und seiner Umwelt, andererseits die Akzeptanz der Natur. Es ist wichtig, dem Gewässer genügend Raum zur Ausbreitung zu geben und gleichzeitig den unmittelbaren Lebensraum des Menschen nicht zu gefährden.

⁷ FRISCH M. zitiert in: Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT (Hrsg.): Alpine Naturkatastrophen. Lawinen - Muren - Felsstürze - Hochwässer. Leopold Stocker Verlag. Graz, 2009, S. 15.

⁸ Vgl. INTERNATIONALE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT INTERPRAEVENT (Hrsg.): Alpine Naturkatastrophen. Lawinen - Muren - Felsstürze - Hochwässer. Leopold Stocker Verlag. Graz. 2009, S. 15 - 16.

⁹ BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Entstehung von Hochwasser. URL: http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_entstehung/index.htm [Stand: 12.02.2012].

2.1 Hochwasser allgemein

Im weiten Sinne versteht man unter dem Begriff Hochwasser eine *„zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist.“* Laut der europäischen Richtlinie 2007/60/EG umfassen diese Hochwasserereignisse *„Überflutungen durch Flüsse, Gebirgsbäche, zeitweise ausgesetzte Wasserströme im Mittelmeerraum sowie durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser.“* Es wird aber darauf hingewiesen, dass *„Überflutungen aus Abwassersystemen“* ausgenommen werden können.¹⁰

Eine ähnliche Stellungnahme hält PAGENKOPF fest. Sie beschreibt das Phänomen Hochwasser als *„zeitlich begrenzte, deutliche Zunahme der Wasserführung in oberirdischen Gewässer“* die durch *„[...] große, im Einzugsgebiet transformierte Niederschlagsmengen oder katastrophale Ereignisse hervorgerufen“*¹¹ wird. Insbesondere betont die Autorin, dass das Schadenspotential von menschlichen Interaktionen abhängig ist.

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich schließen, dass im Falle einer Hochwassererscheinung nicht immer von einer Katastrophe gesprochen werden muss. Ganz im Gegenteil zeigen FRATER, LOHMANN, PODBREGAR und SCHWANKE auf, dass Hochwasserereignisse nützliche Naturphänomene sein können: *„So entstanden nahezu alle alten Hochkulturen an großen Flussläufen, deren Auen regelmäßig mit dem fruchtbaren Schlamm der Überschwemmungen gedüngt wurden.“*¹² Erst als die Menschen gefährliche Gebiete besiedelten, wurden Hochwasser zur großen Gefahr.

Um diese zu minimieren, wurden und werden Bauwerke errichtet, mit denen die Fluten zu zähmen versucht werden. Doch dass dies nur begrenzt möglich ist, belehrt uns die Natur immer wieder aufs Neue. So auch im August 2002, als

¹⁰ Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007.

¹¹ PAGENKOPF A.: Hochwasser. Geographisches Institut der Humboldt Universität zu Berlin. URL: http://album.iimaps.de/projekte/bode/handout_hw.PDF [Stand: 12.02.2012].

¹² FRATER H., LOHMANN D., PODBREGAR N., SCHWANKE K.: Naturkatastrophen. Wirbelstürme, Beben, Vulkanausbrüche - Entfesselte Gewalten und Ihre Folgen. 2. Auflage. Springer. Berlin Heidelberg, 2009, S. 135.

zwei extreme Niederschlagsereignisse zu einer sogenannten „Jahrhundert-Flut“ führten. Weite Teile Österreichs wurden dabei überflutet und neun Todesopfer waren zu beklagen. Es entstand ein Gesamtschaden in der Höhe von 2.9 Milliarden Euro. Dies ist der bisher größte wirtschaftliche Schaden in Österreich, der durch eine Naturkatastrophe verursacht wurde. Bilder wie das Folgende erschienen in den Tageszeitungen.¹³



Abbildung 3 „Jahrhundert Hochwasser“ Niederösterreich¹⁴

Diese und ähnliche Ereignisse haben dazu geführt, dass im allgemeinen Sprachgebrauch Hochwasser meist mit einer Überflutung oder Ausuferung von Gewässern in Verbindung gebracht wird. Allerdings muss dies nicht zwingend der Fall sein, denn schon vor der Ausuferung eines Gewässers, beim übermäßigen Anstieg des Wasserpegels, ist in der Fachsprache von Hochwasser die Rede.

So bezeichnen auch HARB, JÖBSTL und ORTNER Hochwasser als außergewöhnliches Abflussereignis, welches nur unter Umständen sein Flussbett ver-

¹³ Vgl. INTERNATIONALE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT INTERPRAEVENT(Hrsg.). 2009.

¹⁴ NEWS: Flut in Österreich - Es begann mit harmlosen Regen.... URL: <http://www.news.at/nw1/gen/slideshows/slide/show;chronik/inland/katastrophen/hochwasser/2002/august/1/;kid;10?flags=nopop;1> [Stand: 13.02.2012].

lässt und umliegende Landflächen überflutet, diese aber nicht zwingend verlassen muss.¹⁵

HARB, JÖBSTL und ORTNER gliedern den Begriff des Hochwassers in zwei Unterscheidungskategorien: die Fließgeschwindigkeit und die Art der Entstehung.

Bei der Unterscheidung aufgrund der Fließgeschwindigkeit wird differenziert zwischen:¹⁶

- Statischen Überschwemmungen: Die Fließgeschwindigkeit ist kleiner als 1 m/s und der Wasserspiegel steigt nur langsam an. Dies tritt meist im flachen Gelände auf.
- Dynamischen Überschwemmungen: Die Fließgeschwindigkeit ist größer als 1 m/s. Somit treten nicht nur hydrostatische, sondern auch hydrodynamische Kräfte auf. Dies ist meist bei Wild- oder Gebirgsbächen und bei Damnbrüchen der Fall.

Auf die unterschiedlichen Entstehungsarten wird im nächsten Unterkapitel (2.2 Ursachen und Entstehung von Hochwasser) eingegangen.

Eine weitere Art der Unterscheidung von Hochwasser ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens. Man spricht zum Beispiel von HQ1, HQ30, HQ100 oder HQ1000. HQ ist die Abkürzung für die höchste Abflusswassermenge einer Hochwasserwelle, sozusagen die Spitzenabflussmenge und die Zahl ist ihre rechnerische Wahrscheinlichkeit des Auftretens (Wiederkehrperiode) in Jahren. So zum Beispiel bedeutet HQ10 ein Ereignis, das rechnerisch nur alle zehn Jahre vorkommt.¹⁷

¹⁵ Vgl. HARB G., JÖBSTL C. und ORTNER S.: Risiko- und Katastrophenmanagement Skriptum. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz. 2009, S. 6 ff.

¹⁶ Vgl. HARB G., JÖBSTL C. und ORTNER S.. 2009, S. 6.

¹⁷ Vgl. PETRASCHECK A.: Hochwasser. S. 69 - 72. In: OcCC (Hrsg.): Extremereignisse und Klimaänderung. OcCC. Bern. 2003.

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich schließen, dass bei Hochwasser die Abflusswassermenge deutlich über dem Mittelwert liegt. Allerdings muss es dabei nicht zwangsweise zu Überschwemmungen kommen.

2.2 Ursachen und Entstehung von Hochwasser

Hochwasser können aus unterschiedlichen Gründen oder einer Kombination von Ursachen entstehen. Die häufigsten Ursachen nach KRAINER sind:

- *„Starkniederschlag von kurzer Dauer und hoher Intensität*
- *Starkniederschlag von langer Dauer und großem Volumen*
- *Starkniederschlag verbunden mit Schneeschmelze [...]*¹⁸

Insbesondere bei kleinen Flüssen und Bächen stellen die kurze Dauer und hohe Intensität von Starkniederschlag eine große Herausforderung dar. Hingegen sind größere Flüsse und Ströme bei lang anhaltenden Niederschlagsperioden hochwassergefährdeter. Durch den Starkniederschlag verbunden mit Schneeschmelze kann es vor allem im Frühjahr zu Hochwasser kommen.

Darüber hinaus nennt die Autorin weitere Ursachen von Schadensereignissen, die in selteneren Fällen auftreten können.

- *„Sturz und Rutschereignisse in Fließgewässer mit Bildung von Verkläunungen*
- *Sturz und Rutschereignisse in stehende Gewässer mit Bildung von Flutwellen*
- *Ausbruch natürlicher Seen*
- *Ausbruch von Gletschertaschen (nicht sichtbare Wasseransammlungen im Gletscher)*
- *Ursachen technischer Systeme*¹⁹

¹⁸ KRAINER R.. 2003, S. 41.

Es wird deutlich, dass auch durch Massenbewegung Hochwasser verursacht werden können.

Ein weiteres Problem sind technische Bauwerke, die durch menschliches Versagen oder technische Defekte Hochwasser auslösen können.

Wichtige Einflussfaktoren für die Entwicklung des Hochwassers sind die Gebietscharakteristik des Einzugsgebietes und die Gewässercharakteristik. Bei der Gebietscharakteristik sind vor allem Form, Geländeneigung, Art des Bodens und Bewuchs maßgebend.

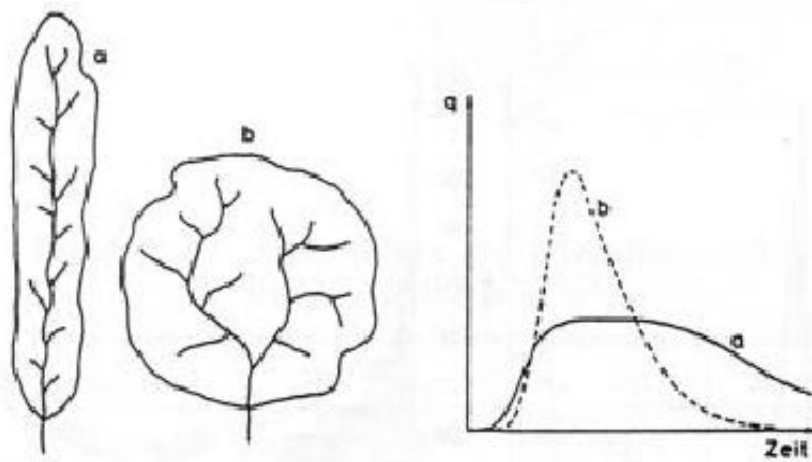


Abbildung 4 Einfluss der Einzugsgebietsform auf das Abflussverhalten²⁰

Wie Abbildung 4 von DUNGER zeigt, hat eine Kreisform des Einzugsgebietes eine weit höhere Abflussspitze als eine schmale langgezogene Form. Dies liegt daran, dass die Wassermengen bei einer Kreisform den Hauptfluss fast zur selben Zeit erreichen, hingegen wird bei der gestreckten Form nacheinander der Hauptarm erreicht.

Die Geländeneigung, die Art des Bodens sowie der Bewuchs sind maßgeblich dafür, wie viel Wasser bei einem Niederschlag an der Oberfläche abrinnt, beziehungsweise wie viel in den Untergrund versickert oder zurückgehalten werden kann. Für eine Retention des Wassers sind Wälder und Moore aber auch

¹⁹ KRAINER R.. 2003, S. 43.

²⁰ FRENZEL M.: Oberseminarvortrag. Thema: Die Ursache von Hochwässern. URL: <http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/oberseminar/os98/frenzel.PDF> [Stand: 12.02.2012].

Retentionsbecken geeignet, da diese große Mengen an Wasser aufnehmen können.

Einflussfaktoren für die Gewässercharakteristik sind Gefälle und Form des Fließgewässers, das Flussbett und die Flusslänge sowie -größe.

Gefälle, Form und Flussbett sind vor allem für die Fließgeschwindigkeit des Flusses verantwortlich. Zudem haben weit verzweigte Auen ein größeres Speichervolumen als enge Schluchten.

Für den Wasseraustausch zwischen Grundwasser und Fluss ist die Durchlässigkeit der Flusssohle verantwortlich.

Bei zunehmender Flusslänge und -größe erhöht sich der durchschnittliche Abfluss. Darüber hinaus kann es durch ungünstige Laufzeiten von Hochwasserwellen in Nebenflüssen und im Hauptfluss zu einer Überlagerung der Wellen kommen. Dies hat eine Erhöhung der Hochwassergefährdung zur Folge.²¹

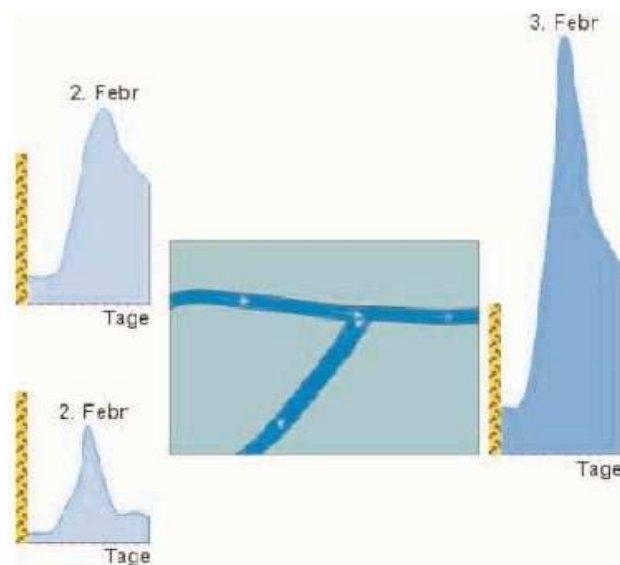


Abbildung 5 Überlagerung der Hochwasserwellen²²

²¹ Vgl. FRENZEL M.: Oberseminarvortrag. Thema: Die Ursache von Hochwässern. URL: <http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/oberseminar/os98/frenzel.PDF> [Stand: 12.02.2012].

²² UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Was sie über vorsogenden Hochwasserschutz wissen sollten. Quedlinburg Druck GmbH. Dessau. URL: http://www.ufz.de/export/data/1/26724_Hochwasserschutz.pdf [Stand: 14.02.2012].

Aufgrund der unterschiedlichen Ursachen der Entstehung von Hochwasser und den unterschiedlichen Einflussfaktoren auf das Hochwasser bedarf es unterschiedlicher Schutzmaßnahmen und Risikomanagementpläne.

2.3 Hochwasserschutz - unterschiedliche Maßnahmen

2.3.1 Allgemein

„[...] Einen vollkommenen Hochwasserschutz gibt es nicht. Stattdessen müssen - auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse - realistische Ziele für den Hochwasserschutz definiert und weiterverfolgt werden.“²³

In diesem Sinne versucht die österreichische Landesregierung Strategien für einen integrierten Hochwasserschutz zu entwickeln. In ihrer Broschüre über den Hochwasserschutz in Österreich wird darauf plädiert, enorme Schäden wie in den vergangenen Jahren zu verhindern. *„Die Hochwässer von 2002 und 2005 haben gezeigt, dass Naturereignisse unser Vorstellungsvermögen übertreffen und die Kräfte der Natur menschliche Schutzbauten trotz aller Anstrengungen zerstören können.“²⁴*

Folgendes Kapitel liefert eine Auflistung möglicher Hochwasserschutzmaßnahmen, welche in aktive und passive Schutzmaßnahmen unterschieden werden.

Zu den passiven Maßnahmen gehören:

- Raumplanung (Gefahrenzonenpläne, ...)
- Öffentlichkeitsarbeit
- Hochwasserrisikomanagementpläne (Katastrophenschutzübungen)

²³ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Hochwasserschutz in Österreich. 2. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, 2006, S. 8.

²⁴ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.). 2006, S. 8.

Zu den aktiven Maßnahmen zählen:

- Hochwasserschutzdämme und -wände
- Hochwasserrückhaltebecken
- Querschnittsaufweitung
- temporäre Maßnahmen (Sandsäcke, Dammbalken, ...)

2.3.2 **Passive/Nicht-bauliche Maßnahmen**

Da man Hochwasserschäden nicht allein mit baulichen Maßnahmen (aktiver Hochwasserschutz) verhindern beziehungsweise verringern kann, sind auch passive Schutzmaßnahmen notwendig. Das Land Oberösterreich spricht sogar davon, dass passiver Schutz volkswirtschaftlich effizienter ist als aktiver. Insbesondere wird das Erstellen von Gefahrenzonenplänen hervorgehoben.²⁵

Dazu gehört nicht nur das Ausweisen von Gefahrenzonen, sondern auch die Unterlassung von Baugenehmigungen in diesen Gebieten. Somit behält das Gewässer seine natürlichen Retentionsflächen und Schäden an Bauwerken können vermieden werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Informieren der Bevölkerung. Durch gezielte Informationsveranstaltungen, Flugblätter und Informationsbroschüren können Bewohner von hochwassergefährdeten Gebieten über das richtige Verhalten, mögliche private Maßnahmen zur Verhinderung von Schäden und den korrekten Umgang mit Hochwasser informiert werden. Das alleinige Hinweisen ist zu wenig. Richtiges Verhalten muss auch trainiert werden. So sind großangelegte Katastrophenübungen, bei denen die Bevölkerung eingebunden wird, notwendig.

²⁵ Vgl. LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.): Hochwasserschutz durch schutzwasserbauliche Maßnahmen. URL: http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xchg/ooe/hs.xsl/59031_DEU_HTML.htm [Stand: 15.02.2012].

Eine private Schutzmaßnahme ist eine hochwasserschadensminimierende Bauweise. Dadurch kann das Gebäude vor zu großem Auftrieb durch das anstehende Wasser geschützt werden.

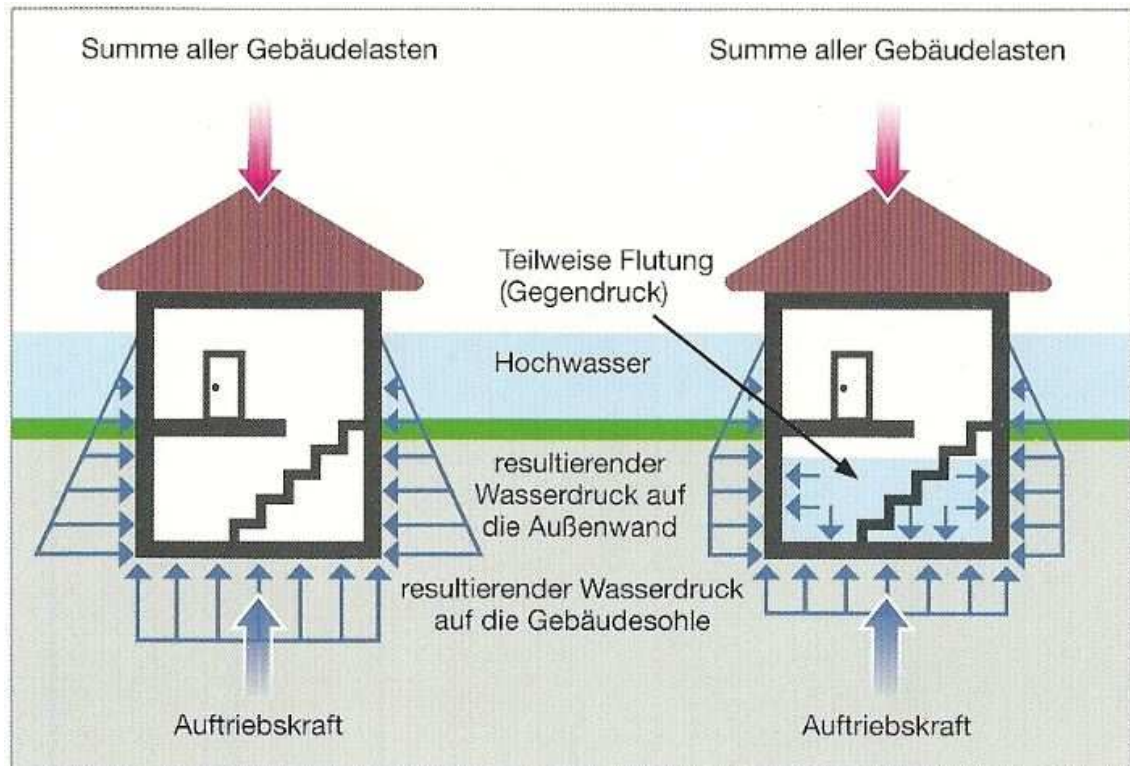


Abbildung 6 Auswirkungen von Grundwasseranstieg und Überschwemmungen²⁶

Abbildung 7 zeigt, dass es noch etliche andere Möglichkeiten zur Schadensminimierung gibt, wie zum Beispiel:

- die richtige Platzierung des Stromverteilers und der Heizanlage
- die richtige Lagerung von Heizöl
- die Verwendung wasserdichter Rohrverbindungen
- den Einbau einer Rückstauklappe bei Rohrleitungen
- die Installation höher gelegter elektrischer Anschlüsse

²⁶ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Leben mit Naturgefahren - Ratgeber für Eigenvorsorge bei Hochwasser, Muren, Lawinen, Steinschlag und Rutschungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium). Wien, 2010, S. 16.

- die Verwendung von wasserbeständigen Böden- und Wandbelägen
- ein höher gelegener Eingang
- eine ideale Abdichtung des Kellers
- sowie den Einbau einer eventuellen Flutungsmöglichkeit

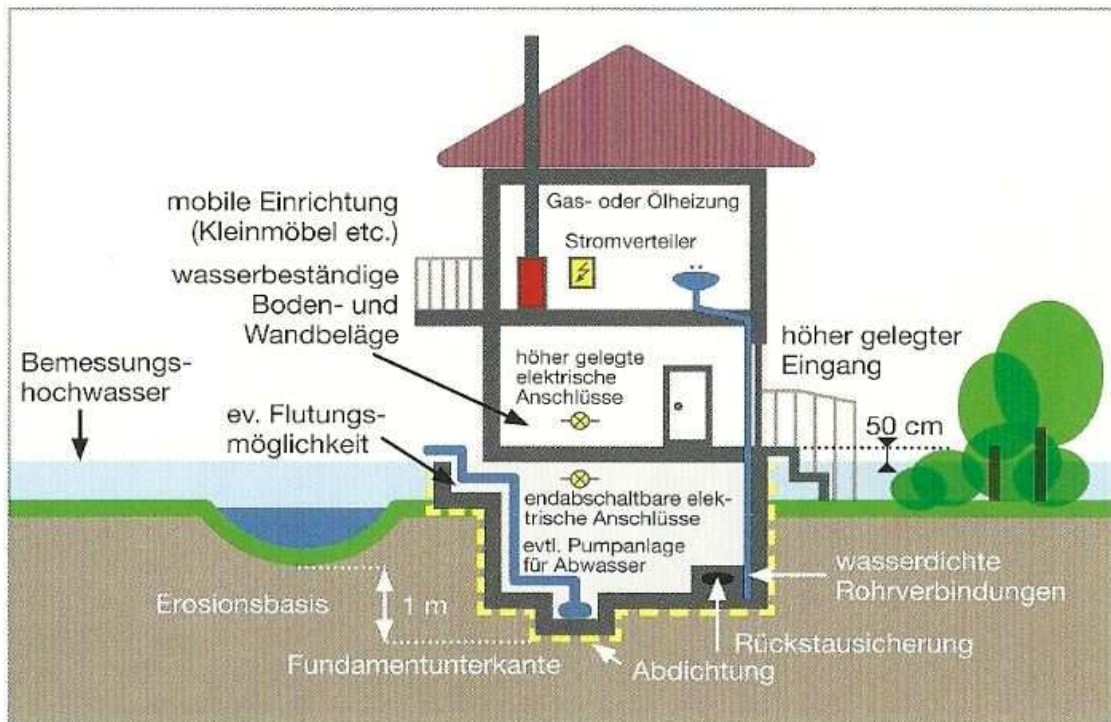


Abbildung 7 Hochwasserschutzmaßnahmen zur Minimierung von Schäden²⁷

2.3.3 Aktive/Bauliche Maßnahmen

Aktive Hochwasserschutzsysteme können grundsätzlich in zwei Kategorien geteilt werden:

- „Lineare Maßnahmen: Hochwasserschutzdämme, Hochwasserschutzwände, mobile Konstruktionen, etc.
- Retentionsmaßnahmen: Hochwasserrückhaltebecken, Flutpolder, aber auch dezentrale Maßnahmen wie Regenwasserbewirtschaftung in Sied-

²⁷ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.). 2010, S. 19.

*lungsgebieten, Wiederherstellung bzw. Förderung der natürlichen Retention, etc.*²⁸

Hochwasserschutzdämme

Laut dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wird ein Deich wie folgt definiert: *„Ein Deich (engl. levee, franz. levée) ist ein Bauwerk, das als künstlich aufgeschütteter Damm längs eines Fluss- oder Meerufers liegt.“*²⁹ Hingegen wird der Damm als ein normgemäß *„zur Fließrichtung quergestelltes, künstlich aufgeschüttetes Bauwerk (oder natürlich entstanden), das den Abfluss mehr oder minder behindert und zumeist stauend wirkt“*³⁰ beschrieben.

Im österreichischen Sprachgebrauch wird an Stelle des Begriffes „Deich“ das Wort „Hochwasserschutzdamm“ verwendet. Dies kann oft zu sprachlichen Missverständnissen führen, da der Hochwasserschutzdamm in Längsrichtung des Flusses liegt. Trotz der unterschiedlichen Definitionen sind Deiche und Dämme ähnlich aufgebaut. Aufgrund der sprachlichen Unklarheit wird in der vorliegenden Masterarbeit der Begriff „Deich“ für Längsbauten und „Damm“ für Querbauten herangezogen.

Deiche werden vor allem errichtet, um hochwassergefährdete Siedlungen vor den Fluten zu schützen. Diese werden meist auf ein HQ100 bemessen, wobei es aber auch zu Abweichungen kommen kann.

Ein Deich als auch ein Damm besteht grundsätzlich aus fünf Zonen:

- Dichtkörper
- Übergangszone

²⁸ HARB G., JÖBSTL C. und ORTNER S.. 2009, S. 8.

²⁹ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT SEKTION WASSER (Hrsg.): Deichquerschnitte (Hochwasserschutzdämme) - Empfehlung für die Ausbildung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien. 2007, S. 3.

³⁰ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT SEKTION WASSER (Hrsg.). 2007, S. 3.

- Stützkörper
- Filter und Drainagen
- Untergrund

Jede dieser Zonen dient einem anderen Zweck und besteht deshalb auch meist aus unterschiedlichen Materialien.

Der Dichtkörper ist das Kernelement und soll das umliegende Land vor Überflutungen schützen. Um das Auswaschen der Feinanteile aus dem Dichtkörper bei schnellem Absinken des Wasserspiegels zu verhindern und um den Dichtkörper von direkten physikalischen Einwirkungen zu schützen, wird eine Übergangszone benötigt. Der Stützkörper dient der Standfestigkeit und muss dem statischen und dynamischen Druck des Wassers standhalten. Das Ausspülen von Feinmaterialien kann durch Filter verhindert werden. Angesammeltes Wasser wird über Drainagen abgeleitet.³¹

³¹ Vgl. ZENZ G.: Vorlesungsmanuskript - Projektierung wasserbaulicher Anlagen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz, 2011/2012.

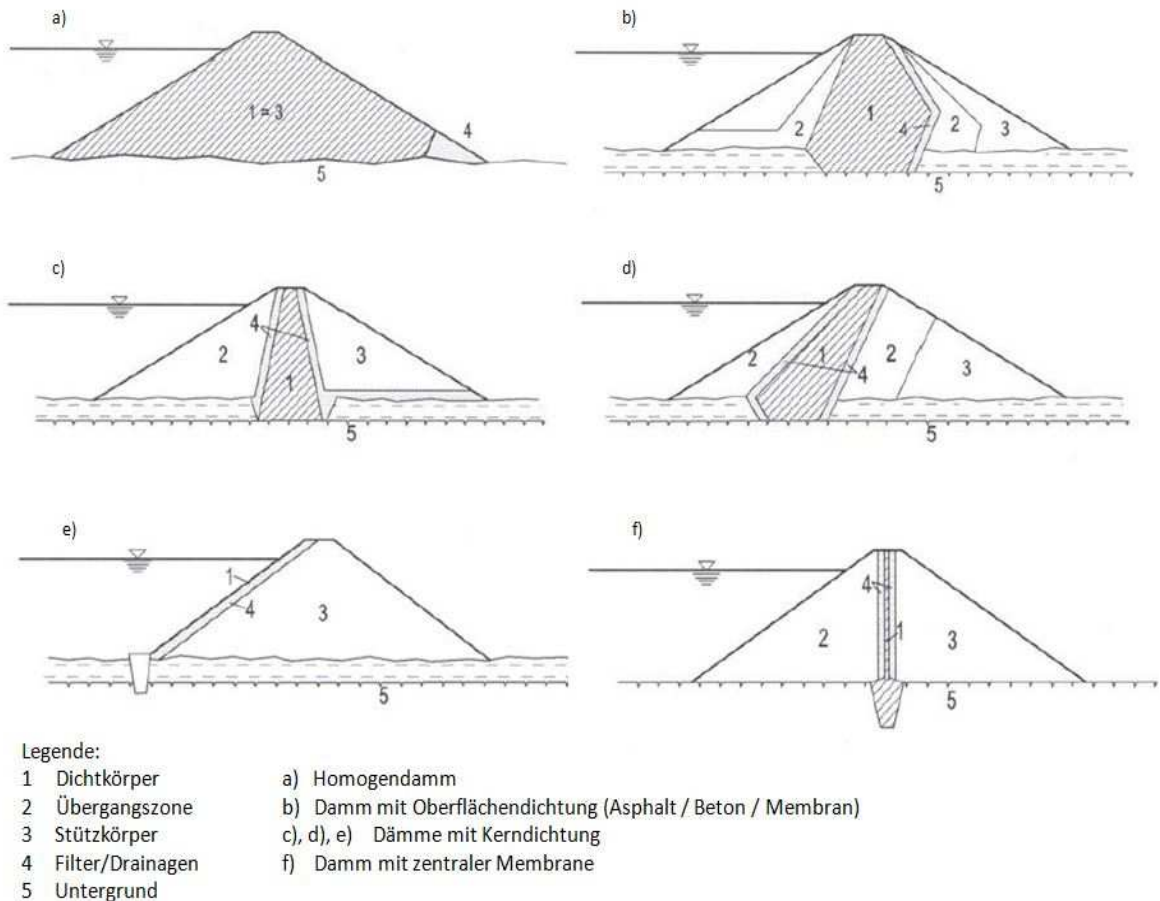


Abbildung 8: Verschiedene Bauweisen von Dämmen³²

Bei dem Entwurf von Deichen ist vor allem auf Deichhöhe, Kronenbreite, Böschungsneigung, Abdichtung, Erosionsschutz, aber auch auf eventuelle Sollbruchstellen zu achten.

Die Deichhöhe ergibt sich aus dem dafür ausgelegten Hochwasser sowie einem zusätzlichen Freibord. Für die Kronenbreite muss berücksichtigt werden, welche Fahrzeuge diese befahren. Um die Wartung oder eventuelle Sanierungsmaßnahmen nicht unnötig zu erschweren, sollte die Böschungsneigung nicht zu steil gewählt werden. Bei der Wahl der Abdichtung sollte man vor allem auf lokale Gegebenheiten des Untergrundes achten. Filter und Drainagen müssen für den inneren Erosionsschutz und Suffusionsschutz eingebaut werden. Unter dem Begriff Suffusion versteht man den Abtransport von Feinteilen in den Boden durch Wasser. Bei einer Erosion wird hingegen der gesamte Boden abge-

³² Vgl. ZENZ G.. 2011/2012.

tragen. Zudem muss auch der Schutz vor äußeren Erosionen durch Wellenschlag, Fließgeschwindigkeit und Starkregen gegeben sein. Damit der Damm bei Extremereignissen, für die er nicht ausgelegt ist, nicht an einer zufälligen Stelle versagt, wird eine Sollbruchstelle eingebaut. So kann man für den Extremfall Vorbereitungen treffen und gezielte Maßnahmenpläne entwickeln.

Damit ein Deich oder auch ein Damm funktionsfähig bleiben kann, muss dieser regelmäßig gepflegt und gewartet werden. Das Land Salzburg hat dazu eine Broschüre herausgegeben.

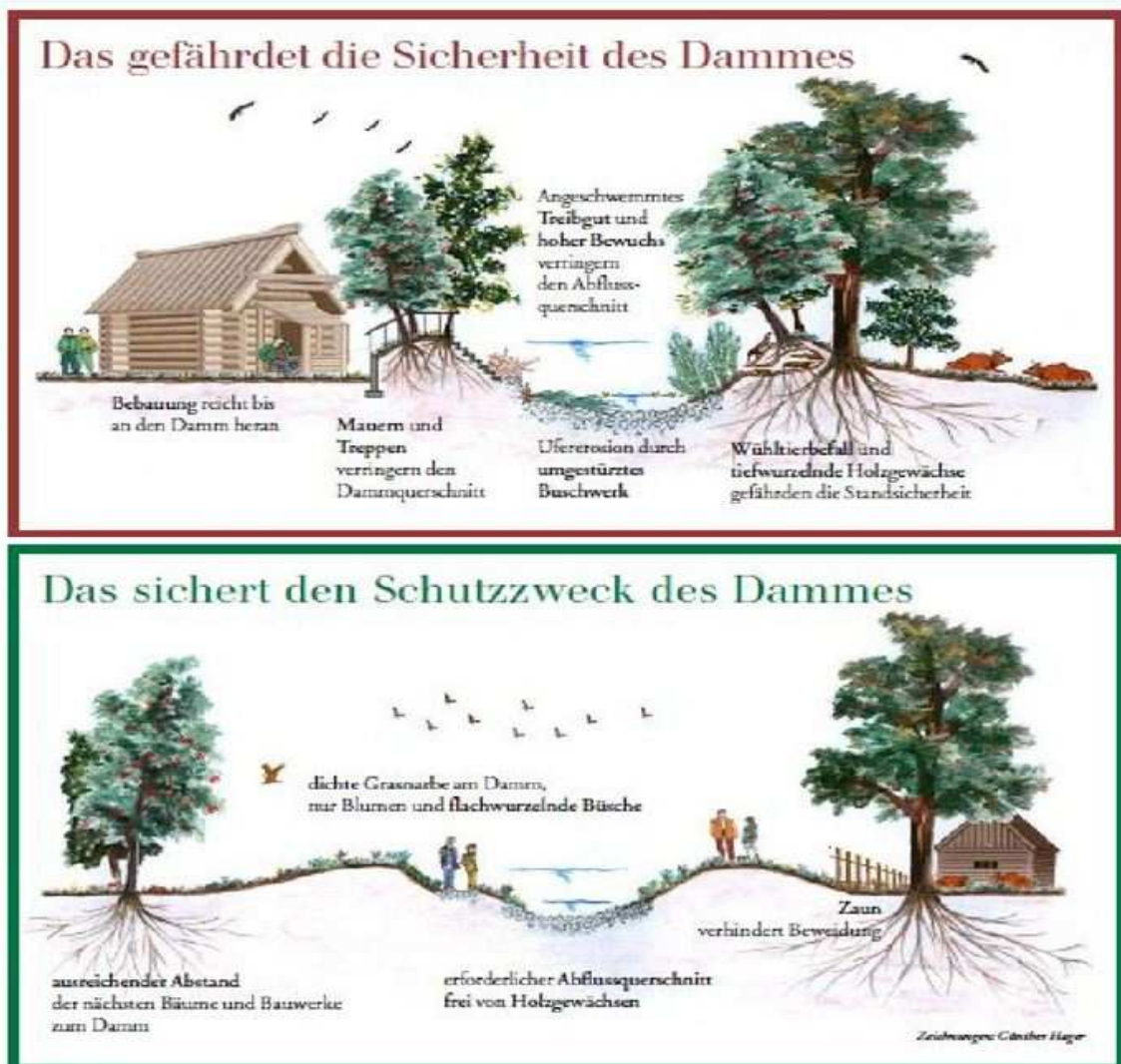


Abbildung 9 Dammpflege und Instandhaltung³³

³³ HAUSSTEINER W.: Hochwasserschutzdämme - Pflege und Instandhaltung. Land Salzburg Fachabteilung 6/6 - Wasserwirtschaft. Salzburg, 2004.

Hochwasserrückhaltebecken

Um Hochwasserspitzen abzufangen, werden Hochwasserrückhaltebecken errichtet. Dies sind künstlich angelegte Speicher, die nur bei Hochwasser gefüllt werden. Durch das Füllen des Beckens wird das Hochwasserereignis zurückgehalten und das Wasser verzögert abgegeben.³⁴

„Eine Hochwasserrückhalteanlage besteht im Wesentlichen aus dem Abschlussbauwerk (Damm, Mauer), einem Betriebsauslass (meistens der Grundablass) und der Hochwasserentlastungsanlage, die die Bauwerkssicherheit des Absperrbauwerkes gewährleisten soll.“³⁵

Da der Speicher nur bei Hochwasser gefüllt ist, kann die Fläche auch genutzt werden. Dabei darf es aber zu keinen Behinderungen für den Betrieb kommen. Der Grundablass kann sowohl geregelt als auch ungeregelt ausgeführt werden. Ein ungeregelter Grundablass besteht lediglich aus einem definierten Querschnitt und kann somit nicht gesteuert werden. Die abgegebene Wassermenge hängt vom Wasserspiegel im Reservoir ab. Bei einem geregelten Grundablass hingegen kann der Querschnitt geändert werden. So wird nur eine maximale Wassermenge an den Unterlauf abgegeben, bis der Speicher voll ist. Daraus ergeben sich zwei wesentliche Vorteile. Zum einen kann durch die Steuerung des Querschnitts die Hochwasserspitze besser abgefangen werden, und zum anderen besteht eine geringere Gefahr für Verklausungen. Die Verklausung ist generell ein Problem bei Hochwasserrückhaltebecken. Deswegen werden Rechen am Grundablass angebracht. Weiters muss der Speicher von Totholz freigehalten werden. Da jeder Speicher nur ein begrenztes Volumen besitzt und der Damm nicht überströmt werden darf, muss eine Hochwasserentlastungsanlage eingebaut werden. Diese muss so konstruiert sein, dass es prinzipiell zu keinen Verklausungen kommen kann.³⁶

³⁴ Vgl. Krainer R.. 2003.

³⁵ Krainer R.. 2003, S. 83.

³⁶ Vgl. Krainer R.. 2003.

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für ein Hochwasserrückhaltebecken. Deutlich sind dabei die drei Hauptbestandteile Absperrbauwerk, Grundablass und Hochwasserentlastung erkennbar.

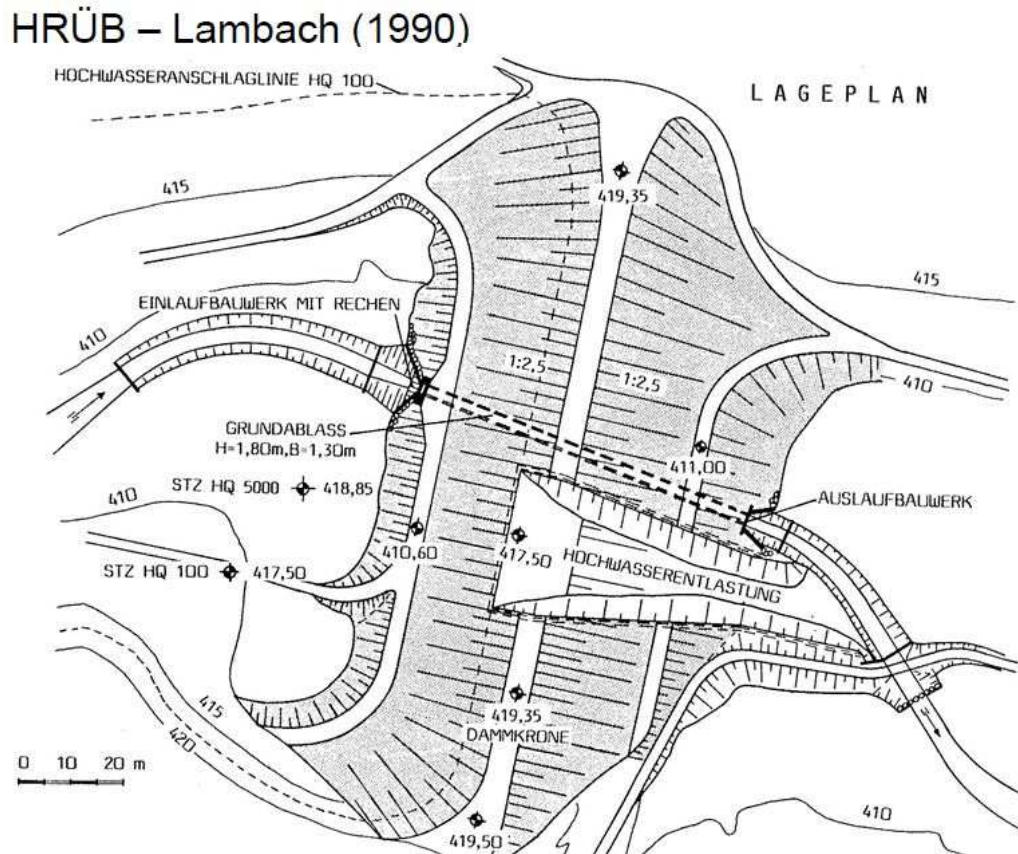


Abbildung 10 Hochwasserrückhaltebecken Lageplan³⁷

Temporäre Maßnahmen

Durch Sandsäcke und Dammbalken kann ein Eindringen des Wassers ins Gebäude verhindert werden. Sandsäcke sind vor allem für niedrige Wasserstände geeignet. Dammbalken sind passgenaue Einsatzstücke, die in Tür- und Fensteröffnungen eingesetzt werden.

³⁷ ZENZ G.: Vorlesungsmanuskript Hydraulic Engineering and Water Resources Management. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz, 2011.

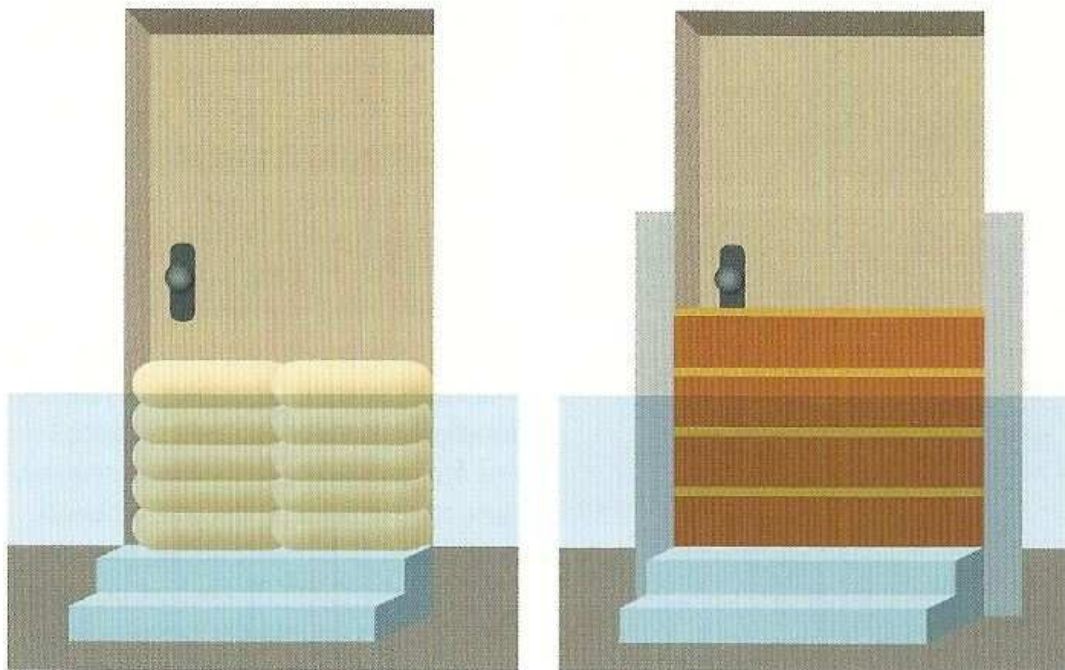


Abbildung 11 Sandsäcke/ Dammbalken³⁸

Sandsäcke und Dammbalken dienen auch zur Erhöhung der Uferböschung oder zur Verstärkung und Erhöhung von Dämmen.

2.4 Restrisiko

Wie bereits in 2.3 Hochwasserschutz - unterschiedliche Maßnahmen aufgezeigt wurde, gibt es, unabhängig der gewählten Schutzmaßnahmen, keinen absoluten Hochwasserschutz. Dies zeigt auch das Hochwasserereignis im Jahr 2005, wo es in Tirol und Vorarlberg trotz zum Teil gut ausgebauter Hochwasserschutzsysteme zu zahlreichen Überschwemmungen und Massenbewegungen gekommen ist. Dabei kam ein Mensch ums Leben, zwei wurden schwer verletzt, neun Häuser zerstört und 253 Gebäude beschädigt.³⁹ Solche oder ähnliche Ereignisse zeigen uns, dass sich die Natur nicht beherrschen lässt. Man muss lernen, die Natur zu akzeptieren und mit dem Restrisiko umzugehen.

³⁸ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.). 2010, S. 17.

³⁹ Vgl. INTERNATIONALE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT INTERPRAEVENT (Hrsg.). 2009.

Ein weiteres Kriterium ist die Effektivität von Maßnahmen, beziehungsweise der Kosten-Nutzungs-Faktor. Da auch der finanzielle Aufwand beachtet werden muss, gilt es die Sinnhaftigkeit von teuren Hochwasserschutzprojekten und deren Wirkungsfaktoren zu überdenken. Deshalb sollte man bei der Errichtung von Schutzmaßnahmen auch immer eine Aufwand-Risiko-Bewertung durchführen. Ein solches Diagramm wird in der Abbildung 12 dargestellt.

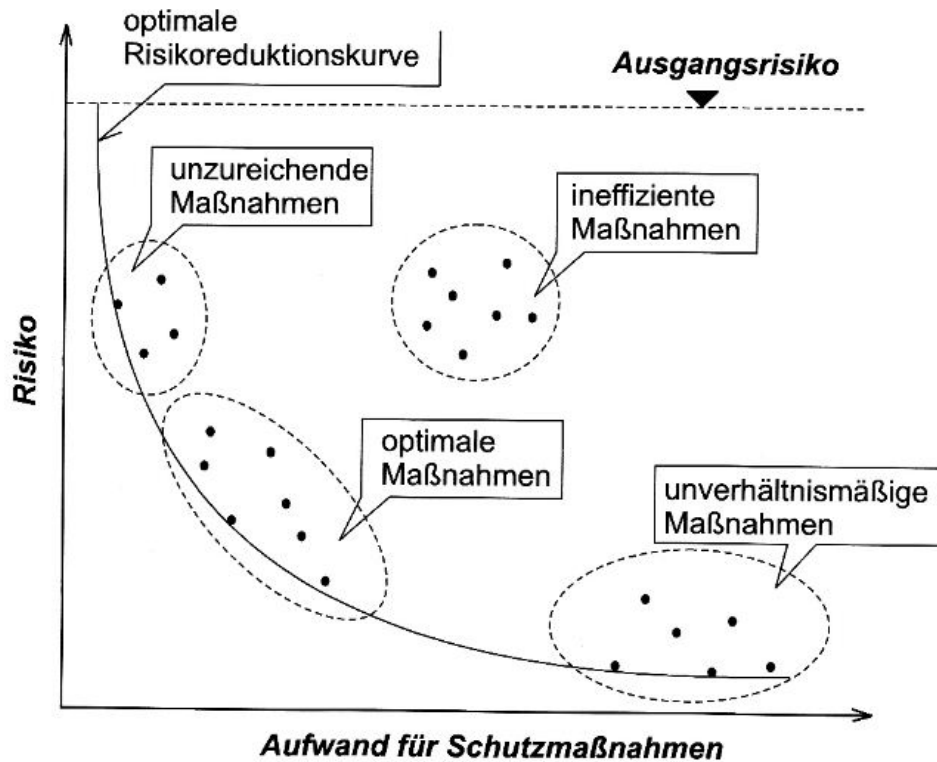


Abbildung 12 Aufwand-Risiko-Diagramm⁴⁰

⁴⁰ Vgl. MERZ B.: Hochwasserrisiken - Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, 2006. S. 20.

3. Risikobewertung

3.1 Allgemeines zu Risiko

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird das Wort „Risiko“ für die Gefahr des Eintretens eines Schadens verwendet. So wird im Brockhaus Lexikon (2006) die Bezeichnung als *„Wagnis, Gefahr, z.B. die mit jeder wirtschaftl. Unternehmung verbundene Verlustgefahr.“*⁴¹ definiert. In sicherheitswissenschaftlicher Betrachtungsweise beinhaltet Risiko die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmaß des Schadens. Zu beachten gilt, dass die Wahrscheinlichkeit eine dimensionslose Zahl zwischen Null und Eins ist. Im Wasserbau wird eher von der Häufigkeit pro Jahr gesprochen beziehungsweise dem Mittelwert, in wie vielen Jahren das Ereignis einmal auftreten könnte. So zum Beispiel bedeutet eine Häufigkeit von 0,01 pro Jahr, dass im Durchschnitt ein Ereignis alle 100 Jahre einmal auftritt.⁴²

⁴¹ BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in einem Band. F.A. Brockhaus GmbH. Leipzig, 2006.

⁴² Vgl. KRÄINER R.. 2003.

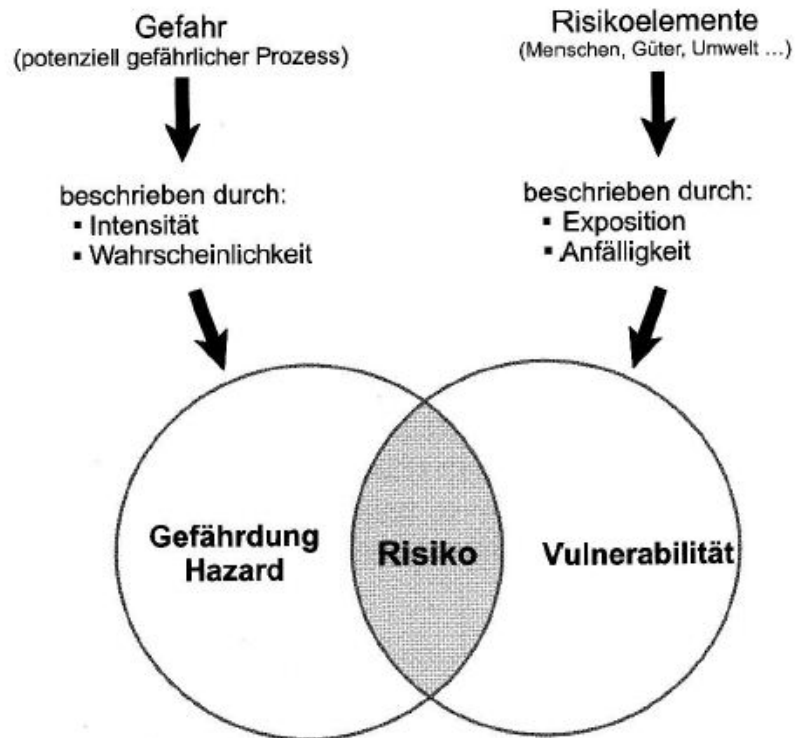


Abbildung 13 Risiko als Resultat der Interaktion von Gefährdung und Vulnerabilität⁴³

Laut MERZ ergibt sich das Risiko aus der Interaktion zwischen der Gefährdung (Hazard), und der Vulnerabilität. Darunter versteht man die Größe des eingetretenen Schadens aufgrund einer physikalischen Einwirkung. Der Zusammenhang beider Komponenten wird in der Abbildung 13 verdeutlicht.⁴⁴

In einer Formel ausgedrückt ergibt sich das Risiko RI aus dem erwarteten Schaden $E\{D\}$ innerhalb eines Zeitintervalls Δt . Dabei kann $E\{D\}$ auch als Integral über die Zufallsvariable Schaden D und ihrer Dichtefunktion $f_D(D)$ dargestellt werden.

$$RI = \frac{E\{D\}}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \int D f_D(D) dD \left[\frac{\text{Schadeneinheit}}{\text{Zeiteinheit}} \right]$$

Das Risiko in Form einer Zahl auszudrücken, stammt aus der Versicherungswirtschaft, wo es auch seine Berechtigung hat. Denn so kann man verschiede-

⁴³ DEUTSCHES KOMITEE FÜR KATASTROPHENVORSORGE e.V. (Hrsg.): Hochwasservorsorge in Deutschland - Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V.. Bonn, 2003.

⁴⁴ Vgl. MERZ B.. 2006. S. 14.

ne Risiken miteinander addieren und gegeneinander verrechnen. Im Hochwasserrisikomanagement ist dies nicht möglich, weil dem objektiven Risiko subjektive Bedürfnisse überlagert sind. Risiken werden sehr unterschiedlich wahrgenommen und akzeptiert. Dabei unterscheidet man freiwilliges und unfreiwilliges Risiko. Vom freiwilligen Risiko ist die Rede, wenn sich Menschen aus eigenem Wunsch einem hohen Risiko aussetzen, beispielsweise bei der Ausübung von Extremsportarten. Hingegen wird die Belastung durch ein unfreiwilliges Risiko, welches meist wesentlich geringer aber nicht beeinflussbar ist, als inakzeptabel bewertet. Demzufolge sind die Gefahren von Hochwasserereignissen als unfreiwillige Risiken einzuschätzen, welche von der Gesellschaft trotz ihres seltenen Auftretens als äußerst bedrohlich empfunden werden.⁴⁵

Um einen Überblick über die wesentlichen Merkmale der Risikobewertung zu erhalten, zeigt Abbildung 14 einen möglichen Ablauf des Risikomanagements. Allerdings darf dabei die Meinung und die Wahrnehmung der Bevölkerung und Politik nicht vernachlässigt werden.

⁴⁵ Vgl. MERZ B.. 2006.



Abbildung 14 Schematische Darstellung des Prozesses der Risikoanalyse⁴⁶

⁴⁶ KRAINER R.. 2003. S. 22.

3.2 Unterschiedliche Ansätze und Methoden zur Abschätzung von Risiken

Es gibt unterschiedliche Verfahren, um ein Risiko abzuschätzen. Allerdings ist keines davon universell einsetzbar, daher muss von Fall zu Fall neu entschieden werden, welche Methoden zur Risikoabschätzung günstig sind. Laut MERZ können geeignete Verfahren zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Schadensszenarien in drei Klassen zusammengefasst werden:

- *„Statistische Analyse von historischen Ereignissen und Beobachtungsdaten,*
- *Modellierung von Schadensszenarien,*
- *Expertenmeinung.*⁴⁷

3.2.1 *Statistische Analyse von historischen Ereignissen und Beobachtungsdaten*

Grundlegend kann gesagt werden, dass eine statistische Analyse von historischen Ereignissen und Beobachtungsdaten sehr geeignet ist. Jedoch muss man dabei bedenken, dass eine Vielzahl an Aufzeichnungen benötigt wird, um eine sinnvolle Aussage tätigen zu können. Insbesondere bei der Auseinandersetzung mit kleinen Bächen kann sich die Datenfindung als schwierig erweisen.

Ähnlich stellt zum Beispiel auch die Berechnung eines HQ 5000 eine große Herausforderung dar. Da auf keine jahrtausendealten Informationen zurückgegriffen werden kann, ist eine exakte Berechnung nicht möglich. Die Streuung ist sehr groß, man spricht in diesem Zusammenhang auch vom Extrapolationsproblem.⁴⁸ Um für die Zukunft und auf Dauer eine genauere Prognose gewährleisten zu können, müssen Messdaten sorgfältig gespeichert und Datenbanken regelmäßig gewartet werden.

⁴⁷ MERZ B.. 2006. S. 34.

⁴⁸ Vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Leitfaden - Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, 2011.

3.2.2 Modellierung von Schadenszenarien

Aufgrund immer leistungsfähigerer Computer und ausgeklügelter Programme kommen Simulationen und prognostische Modelle immer häufiger zum Einsatz. Bei der Modellierung von Schadenszenarien werden weniger aufgezeichnete Daten als bei historischen Analysen, benötigt. Man braucht anstatt dessen aktuelle Umgebungsdaten, wie zum Beispiel Flussprofile, zur Auswertung. Dabei werden die untersuchten Systeme in Subsysteme aufgespalten. Diese werden einzeln bewertet und in Beziehung gesetzt. Die Bewertung der einzelnen Teilsysteme kann als einzelne Zahl oder mittels Verteilungsfunktionen angegeben werden.

Ein Verfahren, mit der ein System durch einzelne Zufallsvariablen beschrieben werden kann, ist die Darstellung quantitativ logischer Zusammenhänge, die als Bäume bezeichnet werden. Anhand solcher Ereignisbäume ist es möglich, die Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener Schadensszenarien zu ermitteln. Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 15 dargestellt. Für die Berechnung der Schadensszenarien ist es notwendig, alle Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Äste zu kennen.⁴⁹

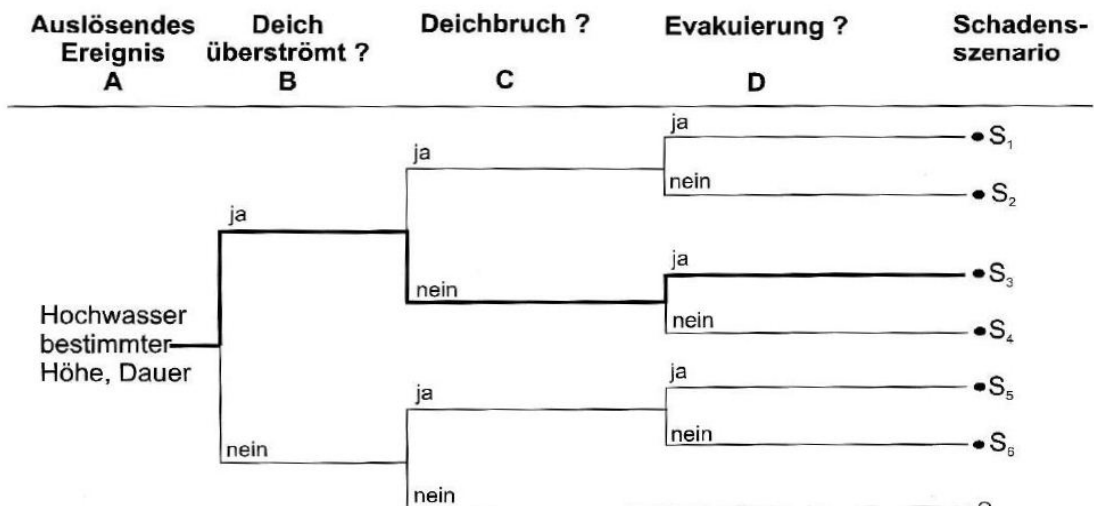


Abbildung 15 Anwendung eines quantitativen logischen Ereignisbaums⁵⁰

⁴⁹ Vgl. MERZ B.. 2006. S. 36.

⁵⁰ MERZ B.. 2006. S. 37.

Die Monte-Carlo-Simulation ist, aufgrund ihrer klaren Definition und Anpassungsfähigkeit, ein häufig verwendetes Verfahren zur Risikobewertung. Dabei wird das Risiko anhand von Dichtefunktionen beschrieben. Die Grenzzustandsfunktion wird durch die Funktionen der Belastung und die Funktionen der Belastbarkeit definiert, dies zeigt Abbildung 16.

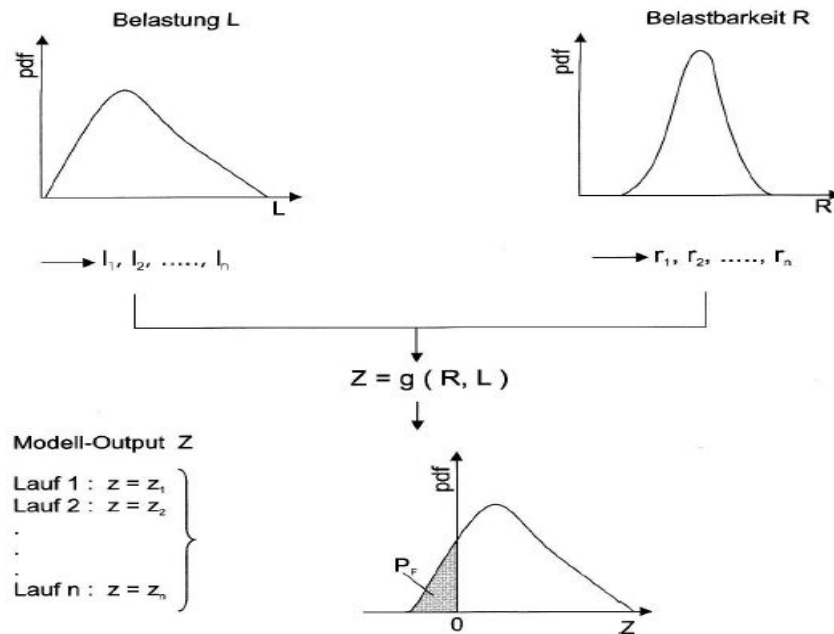


Abbildung 16 Prinzip der Monte-Carlo-Simulation⁵¹

3.2.3 Expertenmeinung

Aufgrund ungenügender Dateninformation ist es oft nicht möglich, eine statistische Auswertung historischer Ereignisse durchzuführen oder ein Modell zu konstruieren. In diesen Fällen ist es hilfreich, Meinungen von Experten einzuholen. Da Expertenabschätzungen oft den Ergebnissen der anderen Verfahren ähneln, aber deutlich weniger Zeit in Anspruch nehmen, neigt man dazu, Experteninterviews statistischer Analysen und Modellbildungen vorzuziehen. Dabei darf man nicht vergessen, dass die Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten für

⁵¹ MERZ B.: 2006. S. 42.

Risikobetrachtungen sehr subjektiv ist, und Menschen Risiken unterschiedlich wahrnehmen.⁵²

3.3 Risikodarstellung

Um die Ergebnisse einer Risikoanalyse besser zu veranschaulichen, können unterschiedliche Diagramme angefertigt werden. Dies kann zu einer enormen Erleichterung bei der Entscheidungsfindung über eventuelle Schutzmaßnahmen führen. Es gibt verschiedene Darstellungsmöglichkeiten wie unter anderem Balken-, Torten- und Liniendiagramme.

Eine gängige Methode, um Risiko darzustellen, sind Risikokurven. Dabei wird auf einer Achse die Eintrittswahrscheinlichkeit und auf der anderen Achse das Schadensausmaß aufgetragen. Der Schaden wird bei mehreren bestimmten Wahrscheinlichkeiten berechnet, in ein Diagramm gezeichnet und mit einer Linienfunktion verbunden. Da es unterschiedliche Arten von Schäden gibt, wie zum Beispiel wirtschaftliche-, Personen-, Direkt- und Folgeschäden, ist es notwendig, sich in einem Diagramm nur auf eine einzige Form des Schadens festzulegen. Wird dies verabsäumt, kann das Diagramm nur sehr schwer und mit viel Aufwand gelesen werden. Außerdem hat jeder Schadensbegriff eine andere Aussagekraft, welche mit anderen nur schwer zu vergleichen ist.^{53, 54}

3.4 Unsicherheiten und Fehlerquellen

Hochwasserereignisse sind äußerst komplexe Vorgänge, bei denen zahlreiche bekannte aber auch unbekannte oder unbeachtete Parameter einfließen. So ist es nicht verwunderlich, dass Unsicherheiten und Fehler auftreten können. Trotzdem wird oft von der Gesellschaft gefordert, Hochwasser exakt vorauszusagen und die genauen Schadensausmaße bekanntgeben zu können.

⁵² Vgl. HARB G.: Ermittlung des Schadenspotentials und Kosten-Nutzen-Analyse von Hochwasserbauten am Fallbeispiel Radkersburg-Umgebung. Harb Gabriele. Graz, 2008. S. 27.

⁵³ Vgl. Krainer R.. 2003.

⁵⁴ Vgl. MERZ B.. 2006.

Oft liegen schon fehlerhafte Datengrundlagen vor, wie zum Beispiel fehlerhaft registrierte Wasserstände, oder es entstehen Umrechnungsfehler, wie zum Beispiel von der Wassertiefe auf die Durchflussmenge. Bei der Abflussberechnung werden oft zu wenige Flussprofile ermittelt und die Rauigkeit ungenügend erfasst. Eine weitere Unsicherheit entsteht durch die jeweilige Wahl des Modells, denn je nachdem für welches man sich entscheidet, werden unterschiedliche Randbedingungen benötigt oder andere Algorithmen verwendet. Außerdem nähert das Modell die Natur an, daher sind Approximationen und Annahmen notwendig. Des Weiteren kann man nicht alle Schadensszenarien ermitteln und berechnen, da es viele Szenarien gibt. Es wäre zum einen der Aufwand für alle Schadensberechnungen zu groß, zum anderen kann es immer wieder zu Naturphänomenen kommen, die das Ausmaß jeglicher Überlegungen sprengen.^{55 56},

So ist es notwendig, sich auf bestimmte Szenarien zu konzentrieren und dabei alle Parameter und Messergebnisse auf deren Richtigkeit und Plausibilität zu kontrollieren.

⁵⁵ Vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.). 2011. S. 95ff.

⁵⁶ Vgl. MERZ B.. 2006. S. 51ff.

3.5 SUFRI - Methode zur Risikobewertung von pluvialem und fluvialem Hochwasser in städtischen Bereichen (Quantitative Methode)

Im Zuge des internationalen Forschungsprojektes SUFRI wurde eine Methode zur Risikobewertung von pluvialem und fluvialem Hochwasser im städtischen Bereich entwickelt. Die Auswertung dieser Methode wurde im Skript ‚SUFRI - WP3‘ von BUENO, TORRES, RODRIGUEZ und MOMPALARER ausführlich dokumentiert.

Unter fluvialem Hochwasser versteht ein man ein Hochwasser, welches entlang von Flüssen auftritt. Pluviales Hochwasser entsteht nach starken Niederschlägen in sehr flachen Gebieten, wo das Wasser nicht abfließen kann.

Da in dieser Masterarbeit eine Bewertung des Schöckelbachs geplant war und für Bad Radkersburg durchgeführt wird, liegt der Fokus vor allem auf fluvialem Hochwasser. Die Risikobewertung wird in F-N und F-D - Diagrammen dargestellt. Mit diesen Diagrammen können die Auswirkungen von baulichen und nichtbaulichen Maßnahmen untersucht werden.⁵⁷

Abbildung 17 zeigt die Auswirkungen von baulichen Hochwasserschutzmaßnahmen im Fall von Hochwasser. Auf der x-Achse ist die Anzahl der zu erwartenden Todesopfer aufgetragen und auf der y-Achse die jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit des Hochwassers. Die rote Linie stellt die Situation ohne Maßnahmen und die grüne die Situation mit baulichen Maßnahmen dar.

Die Knicke bei der grünen Linie ergeben sich, weil dort die Kapazität der baulichen Maßnahmen überschritten wird, beziehungsweise diese zerstört werden. Man kann erkennen, dass durch bauliche Maßnahmen eine deutliche Schadensreduktion bei Hochwassern erreicht werden kann.

Bauwerke werden auf ein Hochwasserereignis ausgelegt werden. Tritt jedoch ein größeres Ereignis auf, kann es zu Überströmungen und zur Zerstörung der Bauwerke kommen. Die durch das plötzliche Versagen der Hochwasser-

⁵⁷ Vgl. CASTILLO-RODRIGUEZ J.T., ESCUDOR-BUENO I., MORALES-TORRES A., PARES-MOMPALARER S. : SUFRI - WP3. Institute of Water Engineering and Environment. Valencia, 2010.

schutzmaßnahmen verursachten Schäden können deutlich höher sein als der ursprüngliche Schaden ohne Baumaßnahmen, siehe Abbildung 17.

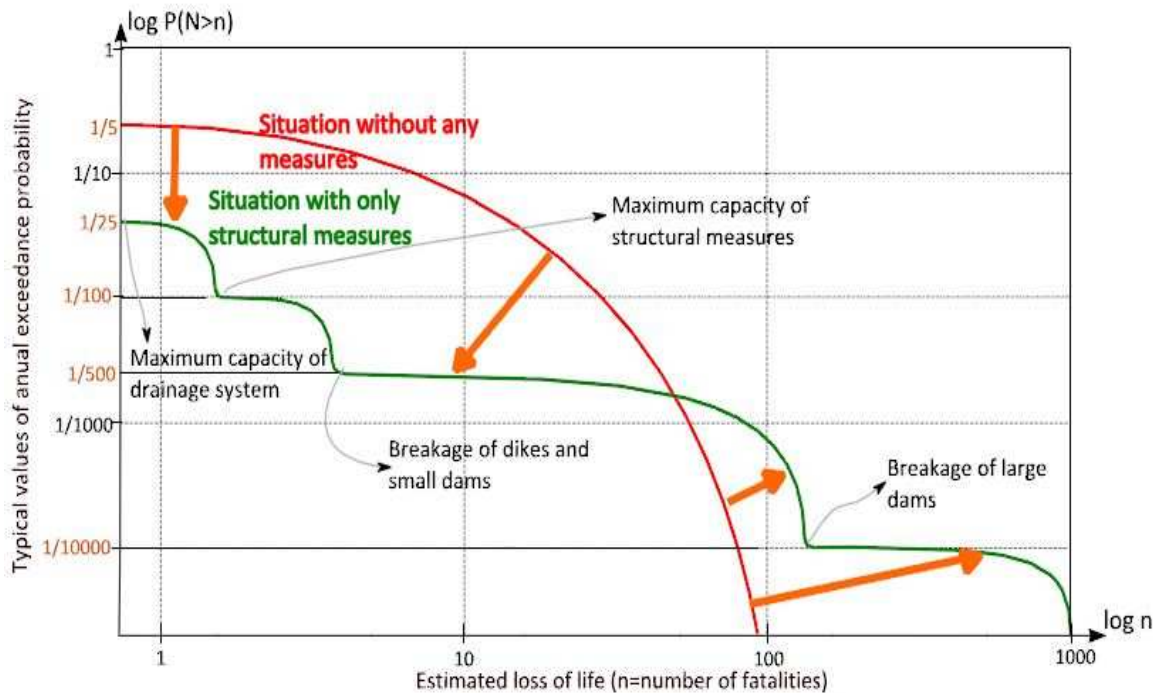


Abbildung 17 F-N Diagramm Auswirkung von baulichen Maßnahmen⁵⁸

Abbildung 18 zeigt die Auswirkung von nichtbaulichen Maßnahmen auf die Schadensreduktion im Fall von Hochwasser. Die Achsenbeschriftung ist dieselbe wie bei Abbildung 17. Die grüne Linie stellt das Schadensausmaß bei Hochwasser mit reinen Baumaßnahmen und die blaue eine Kombination aus baulichen und nichtbaulichen Maßnahmen dar.

Durch nichtbauliche Maßnahmen, wie zum Beispiel einer entsprechenden Vorwarnzeit oder einem Katastrophenplan, ist es möglich, im Katastrophenfall noch eventuelle Maßnahmen zu treffen, um Bauwerke und Personen zu schützen und Schaden zu verringern.

⁵⁸ BUENO I. E., TORRES A. M., RODRIGUEZ J. T. C., MOMPALER S. P..2010. S. 36.

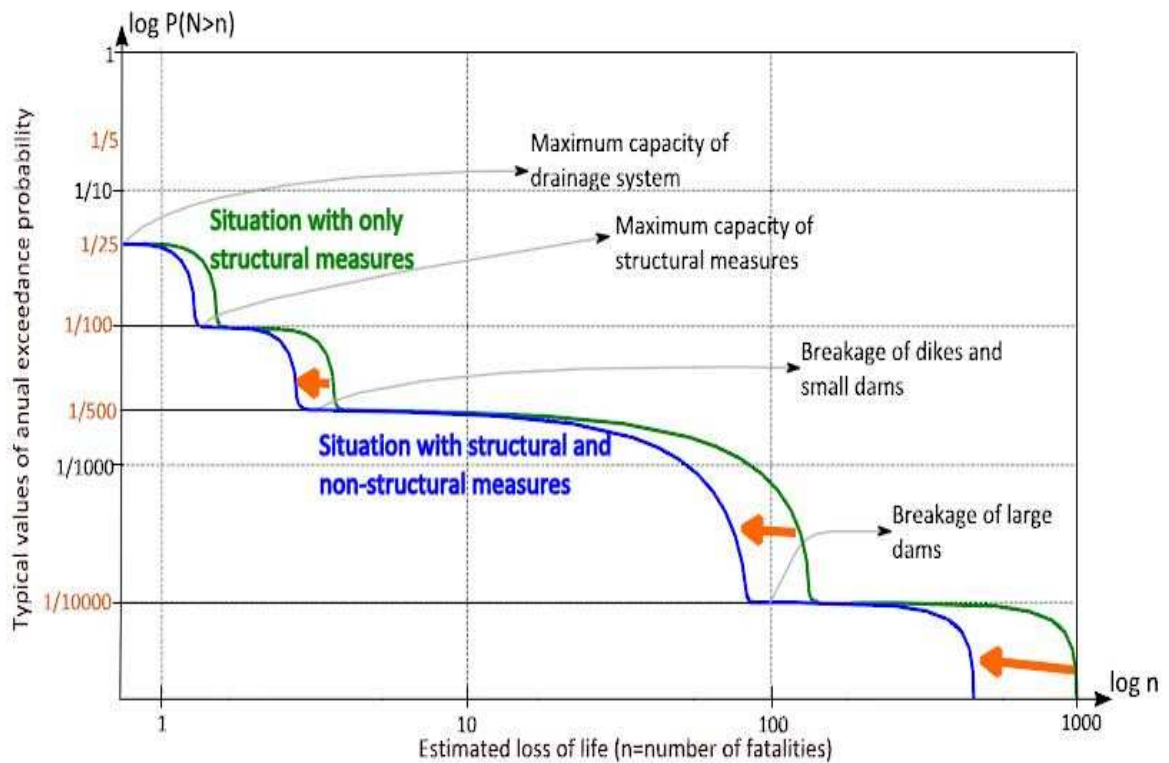


Abbildung 18 F-N Diagramm - Auswirkungen von nichtbaulichen- auf bauliche Maßnahmen⁵⁹

Aus dieser Gegenüberstellung der möglichen Auswirkungen muss versucht werden, eine optimale Kombination aus baulichen und nichtbaulichen Maßnahmen zu finden, die den größtmöglichen Nutzen bringt.

3.5.1 Einzelne Schritte - Ablauf der Methode

Bei der Anwendung der Methode bedarf es verschiedener Prozesse. Diese Prozesse werden in zehn Phasen aufgeteilt und werden nacheinander abgearbeitet. Das Schema ermöglicht einen kurzen Überblick von der Hochwasseranalyse durch SUFRI und kann auch auf andere Methoden übertragen werden.

Der Ablauf der Methode wird in folgende zehn Phasen aufgeteilt:

- Phase I: Bereich der Fallstudie
- Phase II: Datenerhebung

⁵⁹ BUENO I. E., TORRES A. M., RODRIGUEZ J. T. C., MOMPALER S. P..2010. S. 36.

- Phase III: Aktueller Zustand
- Phase IV: Hochwasserszenarien
- Phase V: Aufbau des Risikomodells
- Phase VI: Dateneingabe: Belastung, Systemreaktion, Auswirkung
- Phase VII: Risikoberechnung
- Phase VIII: F-N, F-D Kurven
- Phase IX: Hochwasserrisikobewertung
- Phase X: Studie von nichtbaulichen Maßnahmen

Abbildung 19 zeigt den schematischen Ablaufplan der zehn Phasen der Methode von SUFRI, welche in weiterer Folge kurz erklärt werden.

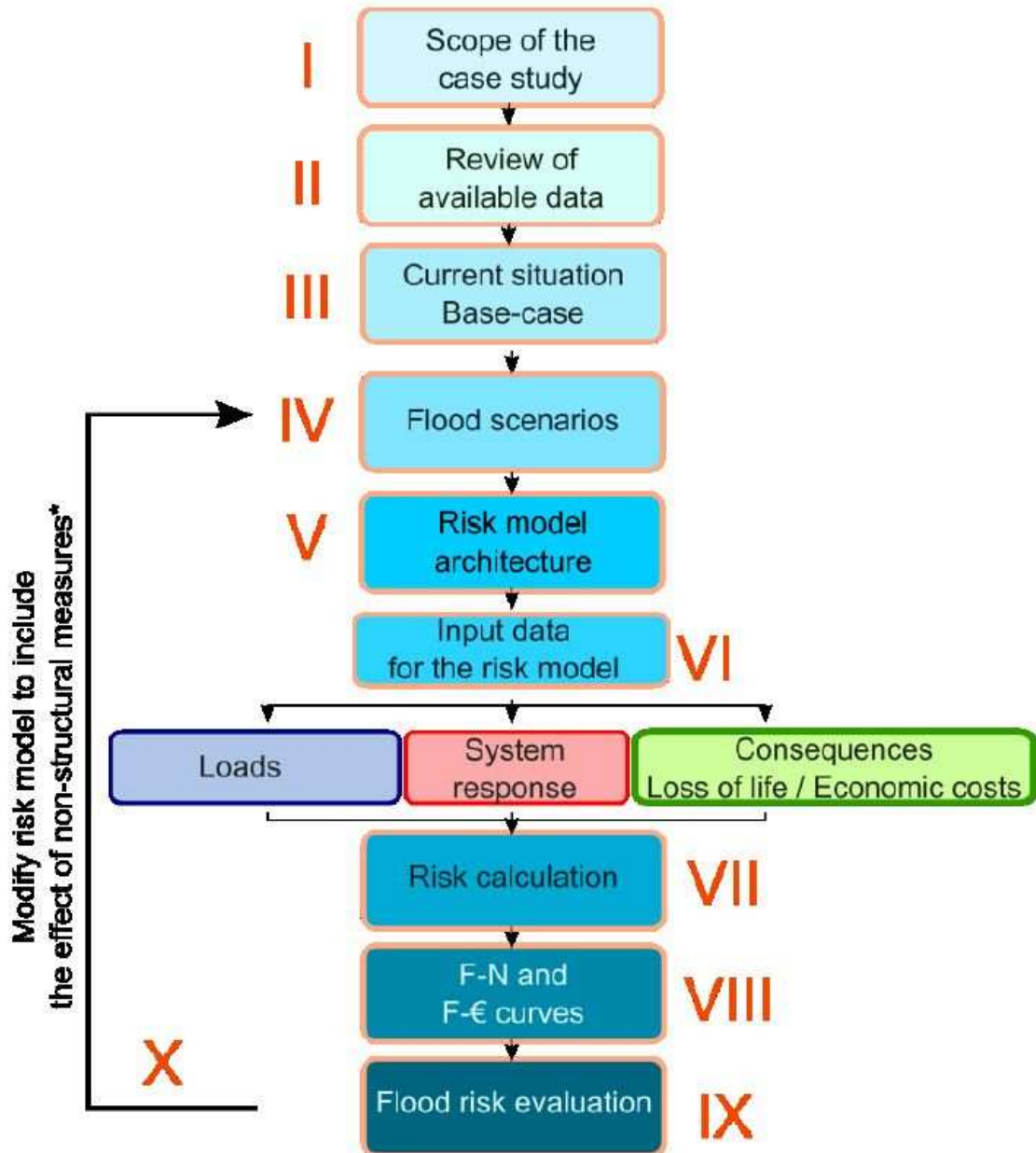


Abbildung 19 Schematischer Ablauf der Methode von SUFRI⁶⁰

In **Phase I** ‚Bereich der Fallstudie‘ - ‚Scope of the case study‘ wird der zu untersuchende Bereich festgelegt. Je nach Größe und gewünschter beziehungsweise erforderlicher Detailliertheit der Studie werden unterschiedliche Daten mit unterschiedlicher Genauigkeit benötigt.

⁶⁰ BUENO I. E., TORRES A. M., RODRIGUEZ J. T. C., MOMPALER S. P..2010. S. 37.

Dies erfolgt auch in Abhängigkeit von der Größe der Studie, wobei zwischen nationalem, regionalem und lokalem Bereich unterschieden wird. Je größer der Bereich, desto geringer muss die Genauigkeit der Daten sein.

Nach der Festlegung des Bereiches folgt **Phase II** ‚*Review of available data*‘, die ‚Datenerhebung‘. Die Qualität der Schadensberechnung durch die Risikobewertungsmethode hängt vom Grad der Genauigkeit der Grunddaten und von der Verfügbarkeit ab.

Unter anderem sind folgende Daten für die Risikobewertung erforderlich:

- Einwohnerzahl im zu untersuchenden Gebiet ‚*Study units*‘
- Zeitkategorien ‚*Time categories (TC)*‘: Je nach Jahres- beziehungsweise Tageszeit halten sich unterschiedlich viele Menschen im untersuchten Gebiet auf. Im Üblichen unterscheidet man zwischen Tag und Nacht beziehungsweise Sommer und Winter.
- Landnutzungskategorien ‚*Land use categories (CU)*‘: Werden Flächen im Untersuchungsgebiet unterschiedlich genutzt, so ist es notwendig, unterschiedliche CUs zu definieren, da je nach Nutzung ein unterschiedlich hoher Schaden bei einer Überschwemmung entsteht.

In **Phase III** ‚aktueller Zustand‘ - ‚*Current situation Base-case*‘ wird die aktuell vorherrschende Situation beurteilt. Dabei werden alle existierenden Hochwasserschutzmaßnahmen erfasst, auch in Hinblick auf den bemessenen Schutzgrad.

In **Phase IV** ‚Hochwasserszenarien‘ - ‚*Flood Szenarios*‘ werden die zu bewertenden Szenarien bestimmt. Es wird geklärt, welche HQs relevant und welche benötigt werden. Dabei stellt man beispielsweise fest, ab welchem HQ der Fluss ausufert beziehungsweise ab welchem HQ die ersten Häuser Beschädigungen davontragen.

Die **Phase V** ‚Aufbau des Risikomodells‘ - ‚*Risk model architectur*‘ dient der Erstellung eines Risikomodells. Im Allgemeinen wird das Risikomodell in drei Kategorien gegliedert.

- **Belastung:** Dabei werden Informationen über unterschiedliche Hochwasserszenarien wiedergegeben.
- **Systemreaktion:** Hier wird das Fehlverhalten der Hochwasserschutzmaßnahmen bei unterschiedlichen Belastungen aufgezeigt.
- **Auswirkungen:** In dieser Kategorie werden die Konsequenzen der Hochwasserszenarien dargestellt. Dies findet unter der Berücksichtigung von menschlichen und wirtschaftlichen Verlusten statt.

Anschließend folgt **Phase VI** ‚Dateneingabe‘ - ‚Input data for the risk model‘, in der die drei zuvor genannten Kategorien schrittweise eingegeben werden: Um Belastungsszenarien für das Hochwasserrisikomodell zu ermitteln, muss man zuerst hydrologische Daten in Hinblick auf das Einzugsgebiet erfassen. Bei der anschließenden Analyse der Systemreaktion ist es wichtig, mögliche Fehlermechanismen der Hochwasserschutzmaßnahmen, wie zum Beispiel Überströmung von Uferdämmen oder Ufermauern, Versagen von Dämmen oder Hochwasserrückhaltebecken, zu berücksichtigen. Abschließend werden aufgrund ermittelter Überflutungsflächen, Wassergeschwindigkeit, Referenzkosten et cetera der Gesamtschaden ermittelt und gesellschaftliche und wirtschaftliche Risiken beziehungsweise Auswirkungen abgeschätzt.

Der Ablauf einer solchen Berechnung wird in Abbildung 20 aufgezeigt. Diese Abbildung stellt die Ermittlung der Verlust an Menschenleben N_Q dar. Im Unterschied dazu wird bei der Berechnung des wirtschaftlichen Schadens verstärkt auf die Landnutzung eingegangen und die Referenzkosten berücksichtigt.

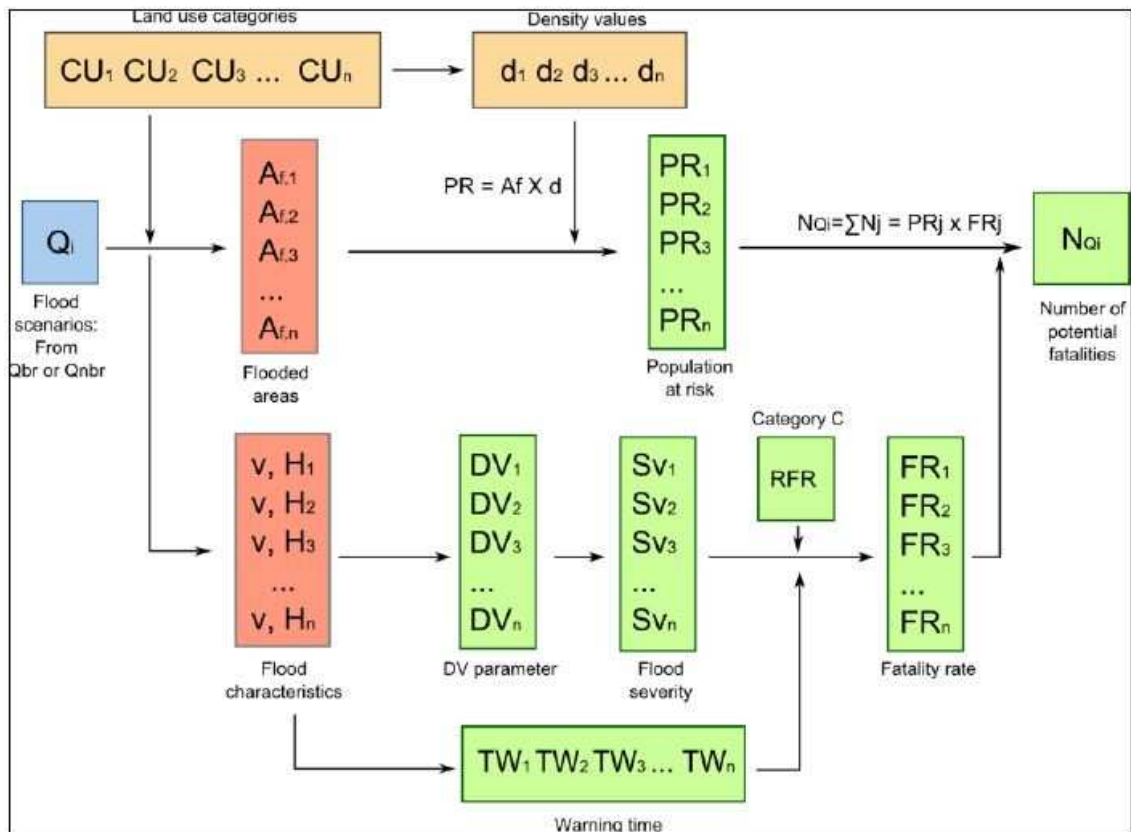


Abbildung 20 Ablauf zur Ermittlung von Hochwasserrisiken⁶¹

Q_i sind die unterschiedlichen zu untersuchenden Abflusswassermengen. Q_{br} berücksichtigt ein nicht funktionieren oder das Überströmen der Hochwasserschutzmaßnahmen. Hingegen ist bei Q_{nbr} ein Versagen der Schutzmaßnahmen nicht möglich.

Mit Q_i und den geografischen Daten ist es möglich, die überflutete Fläche A_f zu ermitteln. Durch Informationen über die Landnutzung CU und in Folge über die Bevölkerungsdichte d wird ermittelt, wie viele Menschen PR sich im überfluteten Bereich aufhalten.

Durch die Berechnung von v und H , der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers v und dem Wasserstand H , wird im zweiten Strang die Todesrate FR ermittelt. Die **DV Parameter** geben das Verhältnis zwischen der maximalen Abflussmenge, der durchschnittlichen Abflussmenge und der maximalen Überflu-

⁶¹ BUENO I. E., TORRES A. M., RODRIGUEZ J. T. C., MOMPALER S. P..2010. S. 37.

tungsbreite wieder. Aus den **DV Parametern** kann die Tragweite des Hochwassers **Sv** ermittelt werden.

Um die Todesrate **FR** zu erhalten, wird die Vorwarnzeit **TW**, und die sogenannte **Kategorie C**, **RFR**, mitberücksichtigt. **Kategorie C** gliedert sich in zehn Bereiche, welche nichtbaulichen Maßnahmen, wie Schulung der Öffentlichkeit, Hochwasserschutzpläne, Koordination der Rettungskräfte und Kommunikation mit der Öffentlichkeit, darstellen.

Die Anzahl der menschlichen Todesopfer **N** ergibt sich aus folgender Formel:

$$N(Q_f, TC) = \sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n PR(Q_f, TC)_i \cdot FR(C, Q_f, TC)_i$$

Abbildung 21 Formel für menschliche Verluste

Im Unterschied zu den menschlichen Verlusten **N** ergeben sich die ökonomischen Schäden **CT** aus direkten Kosten **CD** und indirekten Kosten **CI**, wie Abbildung 22 zeigt. Dabei werden die indirekten Kosten **CI** mit einem Faktor **f_c** von den direkten Kosten **CD** übernommen. Üblicher Weise beträgt dieser Faktor zwischen 0 und 55%.

$$CT = CD + CI = (1 + f_c) \cdot CD_T$$

Abbildung 22 Formel für den ökonomischen Gesamtschaden

Die direkten Kosten **CD** ergeben sich aus den überfluteten Flächen **A_f**, den Referenzkosten **CR** und dem prozentmäßigen Schaden **PD** der bei Überflutung entsteht.

$$CD_i = A_{f,i} \cdot PD_i \cdot CR_i$$

Abbildung 23 Formel für direkte Kosten

In **Phase VII** der ‚Risikoberechnung‘ - ‚Risk calculation‘ werden alle erhaltenen Daten, über den entstandenen menschlichen und wirtschaftlichen Schaden, mit der jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit kombiniert.

Im Anschluss erfolgt in **Phase VIII** ‚F-N und F-D Kurven‘ - ‚F-N and F-€ curves‘ die Darstellung der Risikoauswertungen in F-N und F-D Diagrammen.

Phase IX ‚Hochwasserrisikobewertung‘ - ‚Flood risk evaluation‘ dient dem Vergleich der erhaltenen Ergebnisse mit anderen vorausgegangenen Auswertungen. Durch einen solchen Vergleich können die Auswirkungen von getroffenen Maßnahmen dargestellt werden.

In der letzten **Phase X** ‚Studie von nichtbaulichen Maßnahmen‘ - ‚Study of non-structural measures‘ werden die Auswirkungen von nichtbaulichen Maßnahmen ermittelt. Einzelne Maßnahmen oder Kombinationen von Maßnahmen werden durch die unterschiedlichen Kategorien C1 bis C10 ausgedrückt und beschrieben. Dieser Schritt zeigt auf, wie effektiv beziehungsweise wirkungsvoll nichtbauliche Maßnahmen sind.

4. Fallbeispiel: Schöckelbach

4.1 Projektgebiet

Der Schöckelbach liegt im Norden von Graz. Sein oberes Einzugsgebiet befindet sich im Talbecken von Nieder- und Oberschöckel. Im Norden wird es durch das Schöckelmassiv, im Süden vom Hauenstein sowie dem östlich anliegenden Hügelzug begrenzt.

Ein erheblicher Teil des Wassers wird im Bereich Rotmoosweg an den Andritzbach abgegeben. Der Schöckelbach fließt durch die Katastralgemeinden von Stadt-Weinitzen und Andritz. Ab der Stadtgrenze von Graz, Bachkilometer 4,980, Profil 187, bis zu Bachkilometer 0,202, Profil 4.1, 202 Meter bevor der Schöckelbach in die Mur mündet, wurde der Bachlauf modelliert und in der Berechnung mitberücksichtigt. Dieser Bereich ist unter anderem in Abbildung 24 dargestellt. Der Bachlauf liegt westlich der Radegunderstraße bis er beim Stukitz-Bad die Andritzer Reichsstraße quert und dieser wiederum westlich bis zur Grabenstraße folgt. Anschließend quert der Lauf die Grabenstraße und folgt nordwestlich der Korösisstraße bis er in die Mur mündet.⁶²

Vier kleinere Zubringer münden in diesem Bereich in den Schöckelbach:

- der Dürrschöckelbach bei Bachkilometer 4.500, Profil 168.2
- der Pfangbach bei Bachkilometer 3.747, Profil 142
- der Weizbach bei Bachkilometer 2.404, Profil 94
- der Stufenbach bei Bachkilometer 1.189, Profil 48

Der Unterlauf des Schöckelbachs hat ein geringes Fassungsvermögen, so ufer er immer wieder aus. Hier ist vor allem der Bereich flussabwärts der Prochaskagasse betroffen. Auf der Grundlage der Ausuferungsuntersuchung von 1997 beginnt hier eine Ausuferung ab einem Abfluss von etwa 8 m³/s. Aufgrund des unterschiedlichen Uferbordes findet jedoch eine Ausuferung wesentlich frü-

⁶² Vgl. SACKL B. J.: 04 - Schöckelbach. Ingenieur Büro Hydroconsult. Graz, 1997. S. 1.

her statt.⁶³ Mittlerweile wurden Maßnahmen zur Verbesserung des Schutzgrades durchgeführt.

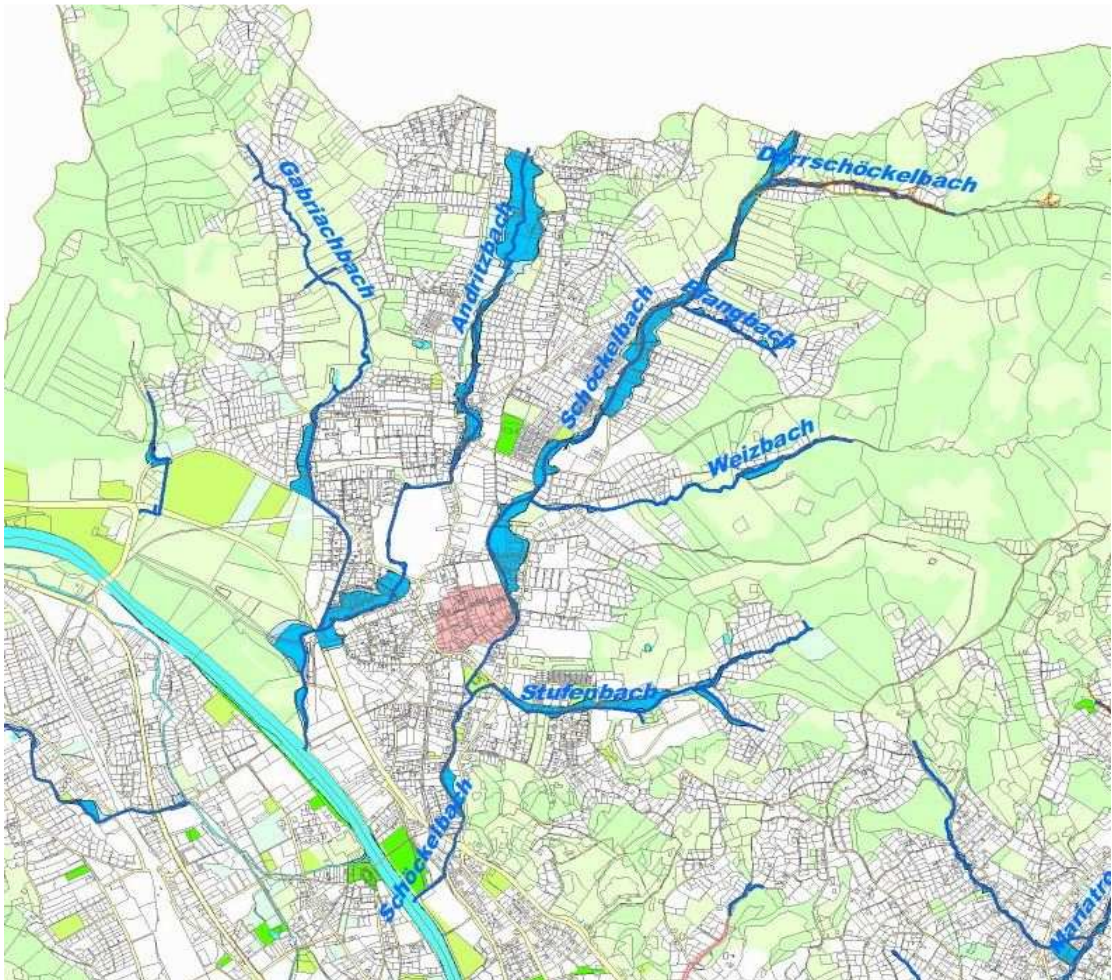


Abbildung 24 Lageplan Schöckelbach⁶⁴

4.2 Datengrundlagen

Die Datengrundlagen der Abflusswassermengen wurden vom Land Steiermark Fachabteilung 19 B zur Verfügung gestellt. Diese basieren auf den Hochwasseruntersuchungen von 1997⁶⁵, 2006 und einer Stellungnahme 2009⁶⁶ zu den

⁶³ Vgl. SACKL B. J.: Schöckelbach, n-jährliche Hochwasserabflüsse. Ingenieur Büro Hydroconsult. Graz, 2009. S. 3.

⁶⁴ STADT GRAZ (Hrsg.): Web GIS - Bäche in Graz. URL: <http://geodaten1.graz.at/WebOffice/synserver?project=baeche> [Stand: 03.05.2012].

⁶⁵ SACKL B. J.. Graz 1997.

⁶⁶ SACKL B. J.. Graz 2009.

vorhandenen Untersuchungen. Die Vermessung des Bachbettes wurde von Dipl.-Ing. Huber durchgeführt.

4.3 Abflussberechnung

4.3.1 Software HEC-RAS

In HEC-RAS wurde eine stationäre 1-D Berechnung durchgeführt, welche auf der eindimensionalen Energiegleichung basiert.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Abbildung 25 Energiegleichung⁶⁷

Z_1, Z_2 - Sohlabstand des Profis zur Referenzhöhe

Y_1, Y_2 - Wassertiefe im Profil

V_1, V_2 - Durchschnittliche Fließgeschwindigkeit

a_1, a_2 - Wichtungskoeffizient für die Geschwindigkeit

g - Gravitationsbeschleunigung

h_e - Energieverlusthöhe

Dabei wurde der Bereich zwischen Bachkilometer 0.202, Profil 4.1, bis Bachkilometer 0.4980, Profil 187 mit insgesamt 225 Profilen und 22 Brücken modelliert.

⁶⁷ US ARMY CORPS OF ENGINEERS (Hrsg.): HEC-RAS - River Analysis System Hydraulic Referenc Manual Version 4.1. US Army Corps of Engineers. Davis, 2010. URL: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/hydrref/> [Stand: 20.12.2011].

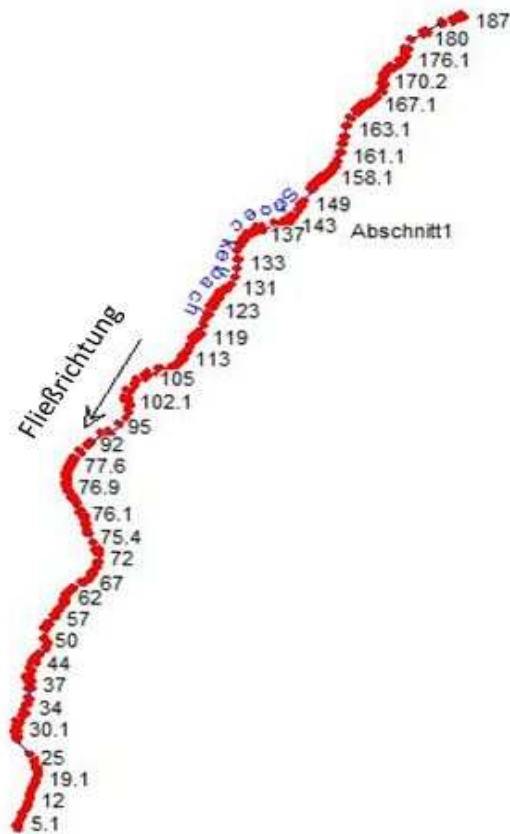
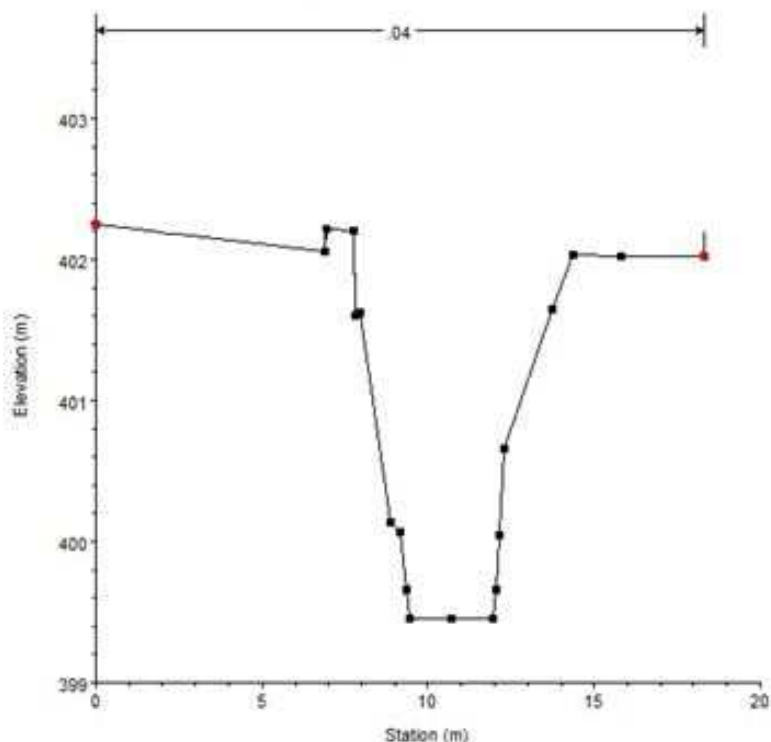
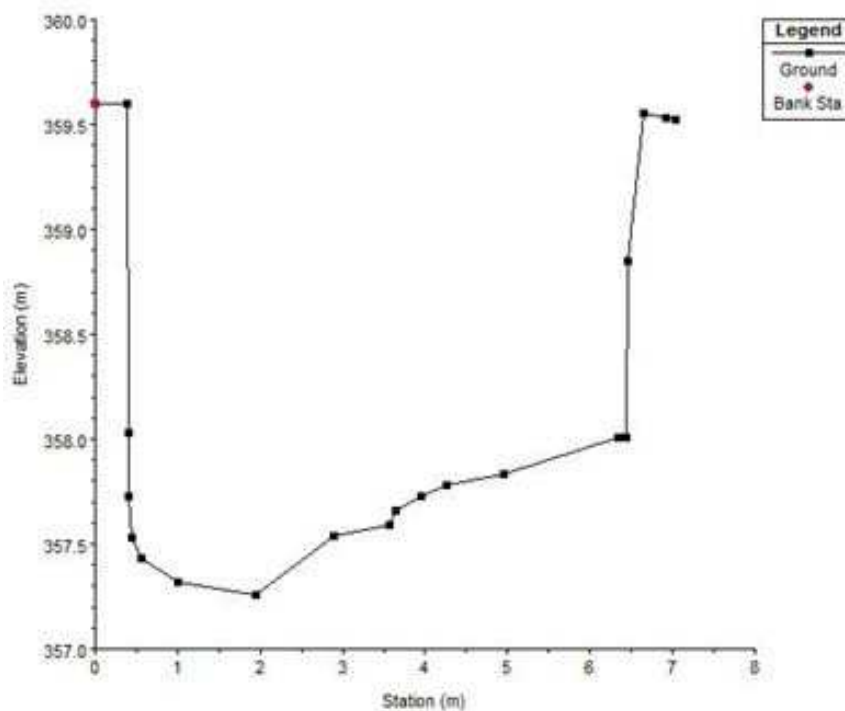


Abbildung 26 Schöckelbach in HEC-RAS

Abbildung 27 zeigt aus dem oberen Bachabschnitt Profil 185, Bachkilometer 4.843 und aus dem unteren Abschnitt Profil 21, Bachkilometer 0.510. Beide Profile haben zirka dieselbe Höhe von zwei Metern, jedoch beträgt die Breite an der Bachsohle bei Profil 21 sechs Meter und bei Profil 187 nur etwa zweieinhalb Meter. Bei Profil 21 erkennt man durch die fast senkrechten Wände deutlich den Ausbau des Bachlaufes.



Profil 185



Profil 21

Abbildung 27 Profil 185 und Profil 21

Die Berechnung der 22 Brücken erfolgte sowohl mittels Energiegleichung als auch mittels Impulserhaltungssatz.

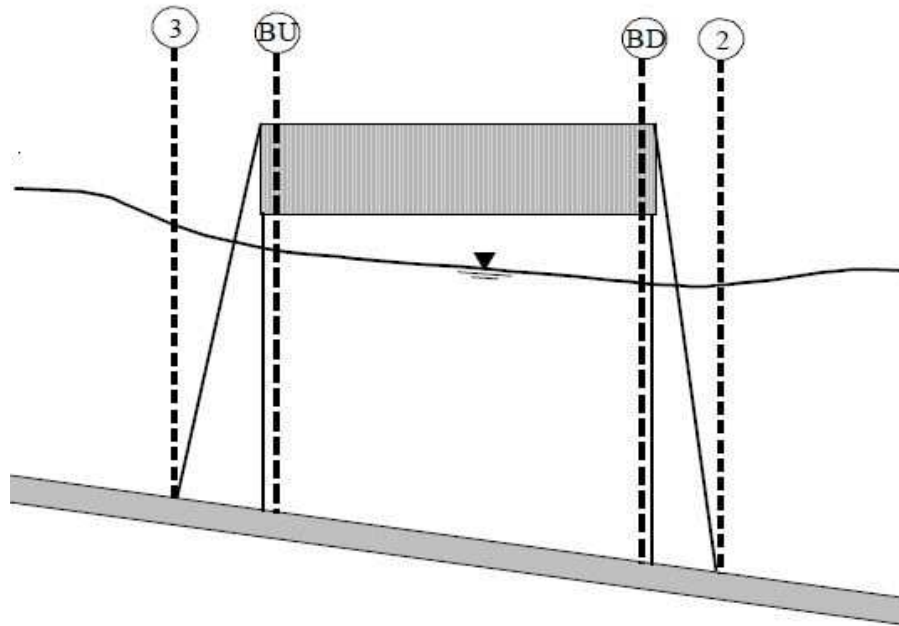


Abbildung 28 Brückenberechnung⁶⁸

Die Methode der Energiegleichung verwendet das gleiche Verfahren wie zwischen zwei Profilen. Die Kalkulation beginnt im Unterwasser. Es werden Manning n Werte zur Ermittlung von Reibungsverlusten, Kontraktions- und Expansionskoeffizienten benötigt, welche wiederum zur Berechnung der Übergangsverluste dienen.⁶⁹

Bei der Methode mittels Impulserhaltungssatz werden zwischen den angrenzenden Profilen und der Brücke, Impulsgleichungen aufgestellt. Zur Ermittlung der Reibungskraft benötigt man einen Rauigkeitskoeffizienten. Für die Berechnung der Kraft auf die Pfeiler wird der Koeffizient für Umströmen herangezogen.⁷⁰

⁶⁸ US ARMY CORPS OF ENGINEERS (Hrsg.). 2010. S.139.

⁶⁹ US ARMY CORPS OF ENGINEERS (Hrsg.). 2010. S.138.

⁷⁰ US ARMY CORPS OF ENGINEERS (Hrsg.). 2010. S.140.

Im ersten Schritt wird eine Impulsgleichung zwischen den Querschnitten 2 und BD aufgestellt. Danach erfolgt die Berechnung zwischen BD und BU und zum Schluss die Gleichung zwischen BU und 3, diese lauten wie folgt:⁷¹

$$\begin{aligned}
 1) \quad & A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 \bar{Y}_2 + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} - A_{PBD} \bar{Y}_{PBD} + F_f - W_x \\
 2) \quad & A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} = A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} + F_f - W_x \\
 3) \quad & A_3 \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} + A_{PBU} \bar{Y}_{PBU} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{PBU} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_x
 \end{aligned}$$

Abbildung 29 Impulsgleichung

A_2, A_{BD}, A_{BU}, A_3 - Aktive Strömungsfläche zwischen den Sektionen

A_{PBD} - Gestörte Fläche im Unterwasser durch die Brückenpfeiler

$\bar{Y}_2, \bar{Y}_{BD}, \bar{Y}_{BU}, \bar{Y}_3$ - Vertikale Distanz zwischen Wasseroberfläche und Schwerpunkt der Strömungsfläche

\bar{Y}_{PBD} - Vertikale Distanz zwischen Wasseroberfläche und Schwerpunkt der benetzten Fläche der Brückenpfeiler im Unterwasser

$\beta_2, \beta_{BD}, \beta_{BU}, \beta_3$ - Wichtungskoeffizient der Geschwindigkeit für die Impulsgleichung

Q - Abfluss

g - Gravitationsbeschleunigung

F_f - Externe Reibungskraft, pro Gewichtseinheit Wasser

W_x - Kraft aufgrund des Gewichts und der Strömungsrichtung des Wassers, pro Gewichtseinheit Wasser

⁷¹ US ARMY CORPS OF ENGINEERS (Hrsg.). 2010.

C_D - Koeffizient zur Beschreibung vom Umströmen der Brückenpfeiler

Die unterschiedlichen Berechnungsarten ergaben annähernd die gleichen Ergebnisse. Für die Risikobewertung wurden die Ergebnisse mittels Energievergleich verwendet. Als Beispiel für die Modellierung von Brücken die Brücke in Profil 185.1 in Abbildung 30 dargestellt.

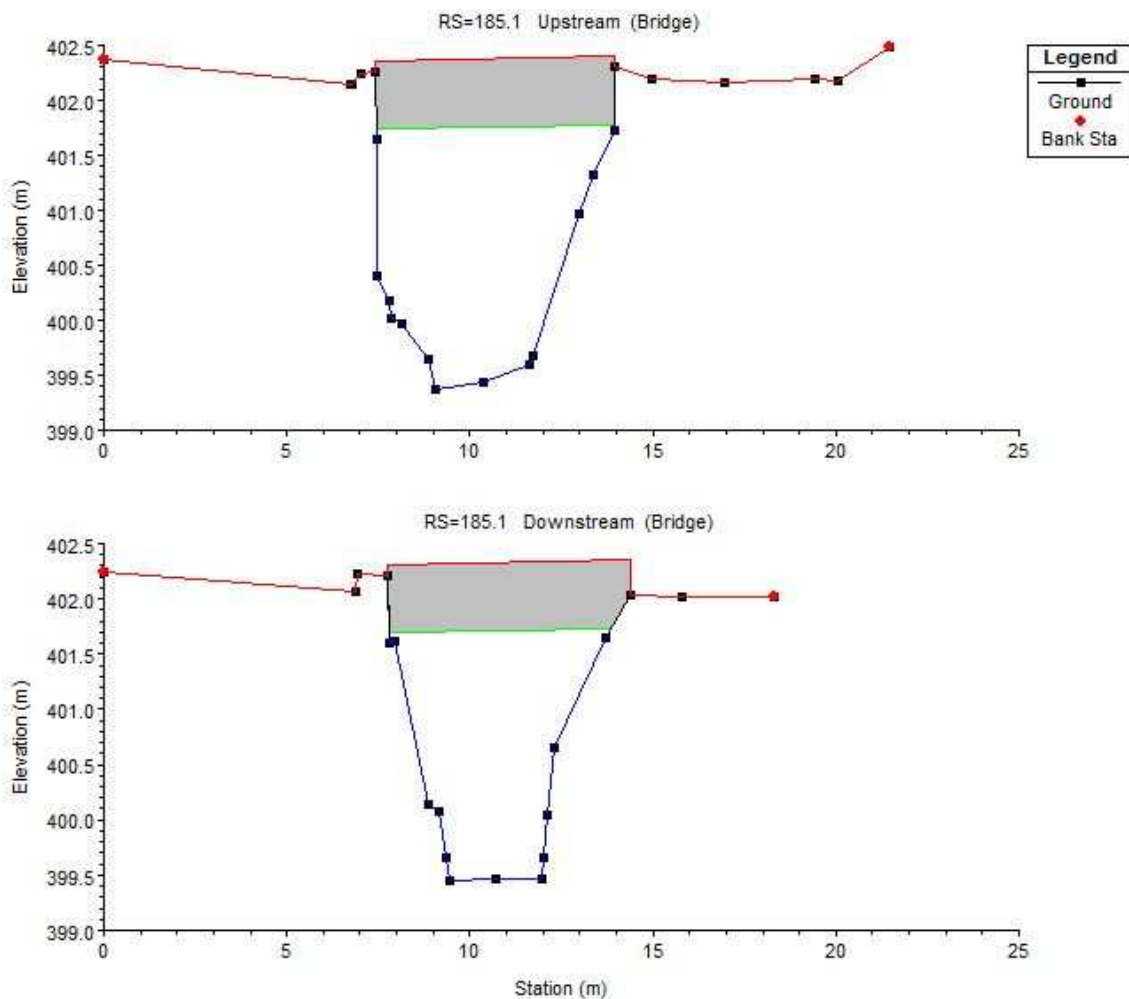


Abbildung 30 Brücke in Profil 185.1

Zuerst waren zwei Profile möglichst nahe der Brücke notwendig. In diesem Fall Profil 186 im ‚Oberwasser‘ - ‚Upstream‘ und Profil 185 im ‚Unterwasser‘ - ‚Downstream‘. Danach wurden der Abstand der Brücke zum Profil im Oberwasser und die Brückenbreite angegeben. Anschließend folgte die Eingabe der Geometrie wie in Abbildung 31 ersichtlich.

Distance		Width		Weir Coef		
0.1		7.5		1.4		
Clear		Del Row		Ins Row		
Copy US to DS						
Upstream			Downstream			
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	7.43	402.36	401.74	7.76	402.31	401.69
2	13.95	402.4	401.78	14.37	402.35	401.73
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Abbildung 31 Erstellung der Brücke in Profil 185.1

„Distance“ - „Distanz“: Abstand zum Profil im Oberlauf

„Width“ - „Breite“: Brückenbreite

„Weir Coef“ - „Überfallkoeffizient“: Wehrkoeffizient C bei Überströmen der Brücken nach King⁷²

„Station“ - „Position“: Abstand zum 0-Punkt des Profils

„high chord“ - „Oberkante“: Höhenkoordinate der Brückenoberkante

„low chord“ - „Unterkante“: Höhenkoordinate der Brückenunterkante

Die stationäre Abflussberechnung in HEC-RAS erfolgte mittels Kalibrierung bekannten Abflusswasserhöhen von Ober- und Unterlauf. Aufgrund des Ausbaus des Schöckelbachs hat sich die Geometrie des Bachbettes geändert und es gibt keine aktuellen Wasserstände zu den einzelnen Hochwassern. Deshalb wurden die Wasserstände für das unterste und oberste Profil mittels der Kontinuitätsgleichung und der Manning-Strickler-Formel berechnet. Desweiteren waren bei der Untersuchung von 2006 die Abflusswassermengen nur an einem Punkt, nach dem Weizbach, gegeben. Die Dotierung der Zubringer Dürrschö-

⁷² US ARMY CORPS OF ENGINEERS (Hrsg.). 2010.

ckelbach, Pfangbach, Weizbach und Stufenbach wurden prozentmäßig von der Untersuchung von 1997 übernommen.

	Profil	HQ 100 (1997)	HQ 100 (2006)	HQ 50	HQ 30	HQ 20
ab Stadtgrenze	187	55	35.4	28.3	23.3	19.3
ab Dürrschöckelbach	168.2	59.1	37.4	29.9	24.6	20.4
ab Fangbach	142	59.9	38.2	30.7	25.1	20.8
ab Weizbach	94	62	39.4	31.5	25.9	21.5
ab Stufenbach	48	64	40.6	32.5	26.7	22.1
	Profil	HQ 10	HQ 5	HQ 4	HQ 2	
ab Stadtgrenze	187	13.9	9.4	7.2	3.6	
ab Dürrschöckelbach	168.2	14.7	10	7.6	3.8	
ab Fangbach	142	15	10.2	7.8	3.9	
ab Weizbach	94	15.5	10.5	8	4	
ab Stufenbach	48	16	10.8	8.2	4.1	

Tabelle 1 Abflussdaten

4.3.2 ArcGIS

Um die Überflutungsflächen zu ermitteln, wurden in ArcGIS die Wasserspiegelhöhen von HEC-RAS mit einem digitalen Geländemodell verschnitten.

Dabei wurden Wasserspiegel für folgende Wasserführungen herangezogen:

- HQ100
- HQ50
- HQ30
- HQ20
- HQ10
- HQ5
- HQ2

Um später eine Umwandlung der Wasserhöhen des Flusslaufes in eine Fläche zu ermöglichen, wurde die einzelnen Punkte der Wasserspiegelhöhen beidseitig parallel zur Flussachse verschoben, wie Abbildung 32 zeigt.

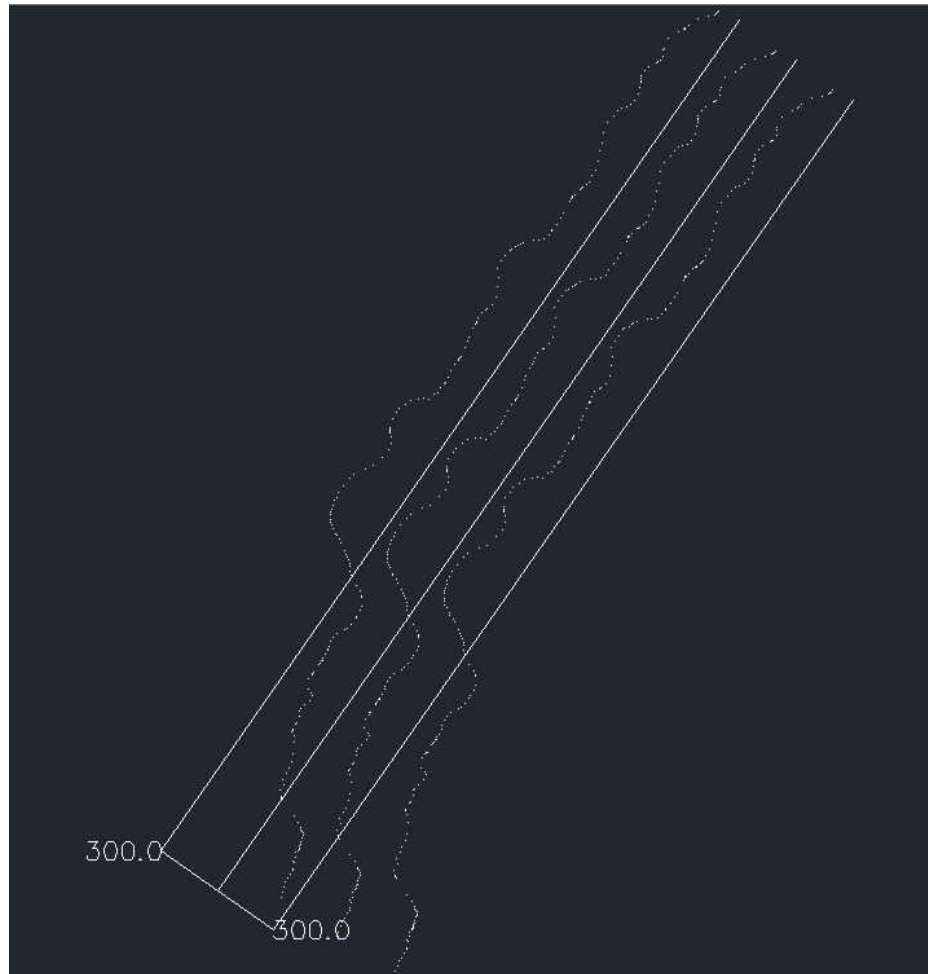


Abbildung 32 Verschobene Flussachse

Für die Umwandlung der einzelnen Punkte in ein Flächenmodell stehen in ArcGIS mehrere Interpolationsverfahren zur Verfügung. Es wurden die Verfahren TIN und Natural Neighbour angewandt, beide ergaben annähernd die gleichen Ergebnisse. Durch eine Interpolation zwischen den einzelnen Punkten wird eine Fläche erzeugt, dabei erzeugt TIN ein eigenes Dateiformat, welches mit dem digitalen Geländemodell nicht kompatibel ist und daher noch in ein Rasterfile umgewandelt werden muss, Natural Neighbour erzeugt direkt ein Rasterfile.

Durch die Verschneidung der Rasterfiles mit einem digitalen Geländemodell von Graz ergaben sich die Überflutungsflächen. Für die weitere Berechnung wurden die Flächen der TIN Interpolation verwendet.

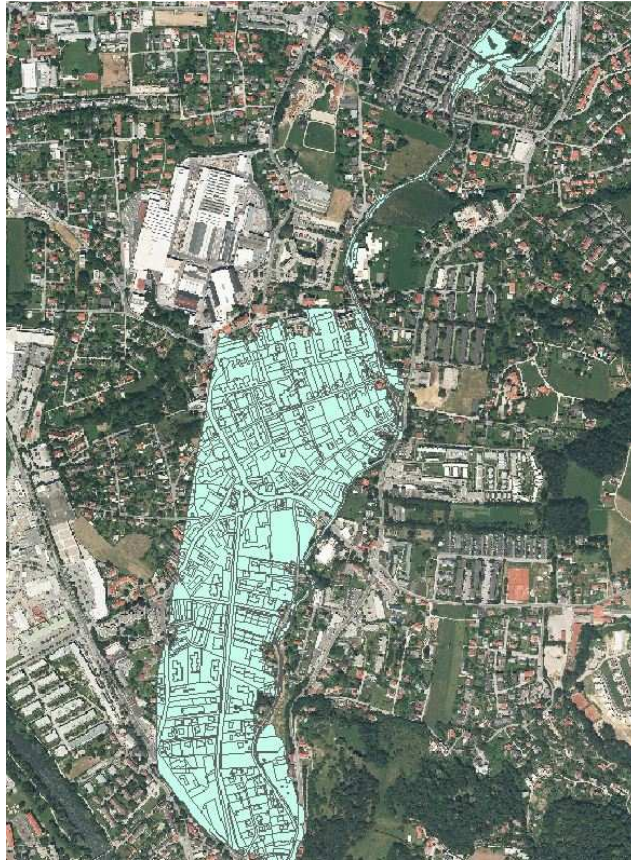


Abbildung 33 Überflutungsflächen HQ10

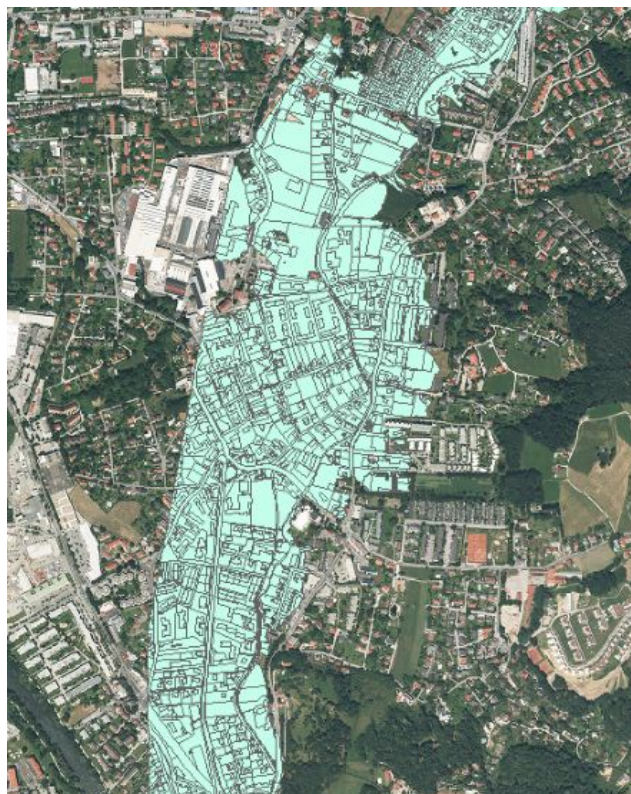


Abbildung 34 Überflutungsflächen HQ100

Zum Schluss erfolgte eine Berechnung der Größe der Überflutungsflächen je nach Nutzungsart. Dazu wurde ein Katasterplan über die ermittelten Flächen gelegt.

Durch die stationäre Methode der Flächenermittlung ist das Ergebnis der Überflutungsberechnung unrealistisch. Eine seriöse Flächenermittlung ist im Bereich südlich der Prochaskagasse nicht möglich. Da das Gelände westlich des Schöckelbachs stetig abfällt und man aufgrund der stationären 1D Berechnung keinen Verlauf der Überflutung erhält, nimmt die Breite der Überflutungsfläche unrealistische Größen an.

4.4 Risikoberechnung

Die Risikoberechnung wurde aufgrund der unrealistischen Größe der Überflutungsflächen aus ArcGIS nicht durchgeführt.

Dennoch erfolgte die für eine Risikoberechnung nach SUFRI erforderliche Datenerhebung, die im folgenden Kapitel näher beschrieben wird. Wassergeschwindigkeiten und Wasserstände konnten aus HEC-RAS herangezogen werden. Des Weiteren wurden die Einwohnerzahl sowie die durchschnittliche Anzahl der Stockwerke ermittelt. Um die durchschnittlichen Referenzkosten pro überfluteten Quadratmeter zu erfassen, benötigte man wiederum die Überflutungsflächen.

Demographie:

Die Einwohnerzahl von Andritz wurde aus einer Zählung vom 01.04.2012 entnommen und beträgt 19719⁷³. Es erfolgte eine Unterteilung in vier Zeitkategorien TC. Da die Zählung auch Personen mit Nebenwohnsitz berücksichtigte, sich jedoch nie alle Personen gleichzeitig in Andritz befinden, wurde generell von einer Abminderung der Einwohnerzahl von 20% ausgegangen. In Andritz gibt es viele Wohngebäude und tagsüber sind die meisten Bewohner außerhalb dieses Bezirkes in der Arbeit, deshalb wurde die Einwohnerzahl mit 70% ge-

⁷³ STADT GRAZ (Hrsg.): Daten und Fakten - Bezirk Andritz. URL: <http://www.graz.at/cms/beitrag/10180729/4216891> [Stand: 12.04.2012].

genüber der Nacht angenommen. Eine weitere Abminderung um 10% wurde in den Sommermonaten getroffen, da dies die beliebteste Reisezeit ist.

Einwohner im Untersuchungsgebiet		
Zeitkategorie TC	Bezeichnung	Einwohnerzahl
TC1	Sommer Tag	9938
TC2	Sommer Nacht	14198
TC3	Winter Tag	11043
TC4	Winter Nacht	15775
Einwohnerzahl von Andritz		19719

Tabelle 2 Einwohner im Untersuchungsgebiet

Gebäudetypologie:

Die meisten Gebäude in Andritz sind Ein- oder Zweifamilienhäuser. Die meisten Heizanlagen befinden sich im Keller, dies erhöht den Schaden bei Überflutung enorm. Die durchschnittliche Anzahl der Stockwerke von 2.41 wurde durch eine Gebäudestudie von Andritz ermittelt.⁷⁴

Stockwerke	1	2	3	4	5	6 <
Gebäude	20	182	25	13	1	0
%	0.080	0.731	0.100	0.052	0.004	0.000
Gesamt	249					
Durchschnittliche Anzahl der Stockwerke	2.41					

Tabelle 3 Durchschnittliche Anzahl der Gebäude

Landnutzung und Referenzkosten:

Der Großteil von Andritz wird als Wohnfläche genutzt. Im Norden gibt es einige Grün- und landwirtschaftliche Nutzflächen. Im Zentrum befinden sich ein Gewerbegebiet und südlich davon ein Industriegebiet.

⁷⁴ STADT GRAZ - FACHABTEILUNG FÜR GRÜNRAUM UND GEWÄSSER (Hrsg.): Gebäudestudie Andritz. Stadt Graz. Graz, 2010.

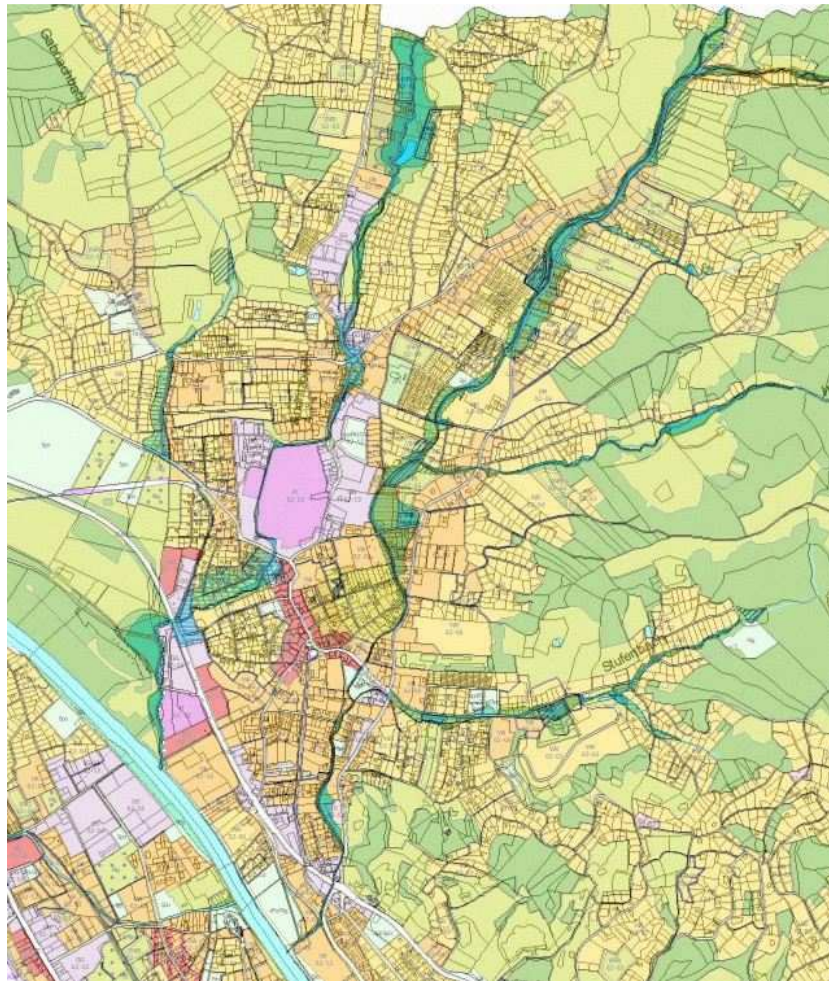


Abbildung 35 Katasterplan Andritz⁷⁵

Die Unterteilung der unterschiedlichen Landnutzungen erfolgte in drei Kategorien CU:

- Gebäude
- Industrie
- Grün- und landwirtschaftliche Nutzfläche

Um die Referenzkosten zu berechnen, konnten die Grundstückspreise und der Wert von Gebäuden aus dem Immobilienatlas⁷⁶ entnommen und mit der Nutzung der Überflutungsflächen ein Durchschnittswert berechnet werden.

⁷⁵ STADT GRAZ (Hrsg.): Web GIS - Flächenwidmungsplan. URL: http://geodaten1.graz.at/WebOffice/synserver?project=flaewi_3 [Stand: 19.04.2012].

Vorwarnzeit und andere nichtbauliche Maßnahmen:

Da sich direkt neben dem Schöckelbach Gebäude befinden und das Fassungsvermögen des Bachbettes relativ gering ist, beträgt die Vorwarnzeit TW 0 Stunden.

Die nichtbaulichen Maßnahmen laut Kategorie C wurde mit C6 bewertet.

C6:

- Hochwasserschutzpläne existieren
- die Koordination der Rettungskräfte ist intakt
- die Kommunikation mit der Öffentlichkeit funktioniert
- die Schulung der Öffentlichkeit ist jedoch noch ausbaufähig

4.5 Ergebnisse

Da es ohne Überflutungsflächen nicht möglich ist, die Risikoberechnung von SUFRI durchzuführen und eine erforderliche instationäre 2D Berechnung durch fehlende Grundlagen den Rahmen dieser Masterarbeit sprengen würde, wurde auf ein bereits bearbeitetes Fallbeispiel, Bad Radkersburg, zurückgegriffen. Für Bad Radkersburg existierte bereits eine Risikoberechnung, allerdings nicht mit der Methode die unter dem Projekt SUFRI publiziert wurde.

⁷⁶ RAIFFEISEN (Hrsg.): ImmoPreisAtlas. URL:
<http://www.immopreisatlas.at/Default.aspx?bundesland=6&bezirk=601&immoType=3>
[Stand: 05.05.2012].

5. Fallbeispiel: Bad Radkersburg

5.1 Projektgebiet

Bad Radkersburg befindet sich in der Südsteiermark im Bezirk Radkersburg und liegt an der Grenze zu Slowenien. Im Bereich von Spielfeld bis einschließlich Radkersburg bildet die Mur die Grenze zu Slowenien.



Abbildung 36 Bezirke in der Steiermark⁷⁷

Das Stadtgebiet von Bad Radkersburg liegt bei Mur-Kilometer 102.500 bis Kilometer 99.800. Durch das Stadtgebiet fließt zudem der Drauchenbach. Dieser blieb aber in der Hochwasserrisikobewertung unberücksichtigt. Das letzte Hochwasser ereignete sich 2009. Dabei wurden Gemeindestraßen überschwemmt und schwere Schäden in der Landwirtschaft verursacht. Daraufhin wurde die Planung konkreter Sanierungsmaßnahmen und neuer Dammfächen bei Mur und Drauchenbach in Angriff genommen.

⁷⁷ STEIERMARK AKTIV (Hrsg.): Bezirke in der Steiermark. URL: http://www.steiermark-aktiv.at/ausflugsziele/1_1_37_aktiv [Stand 12.05.2012].

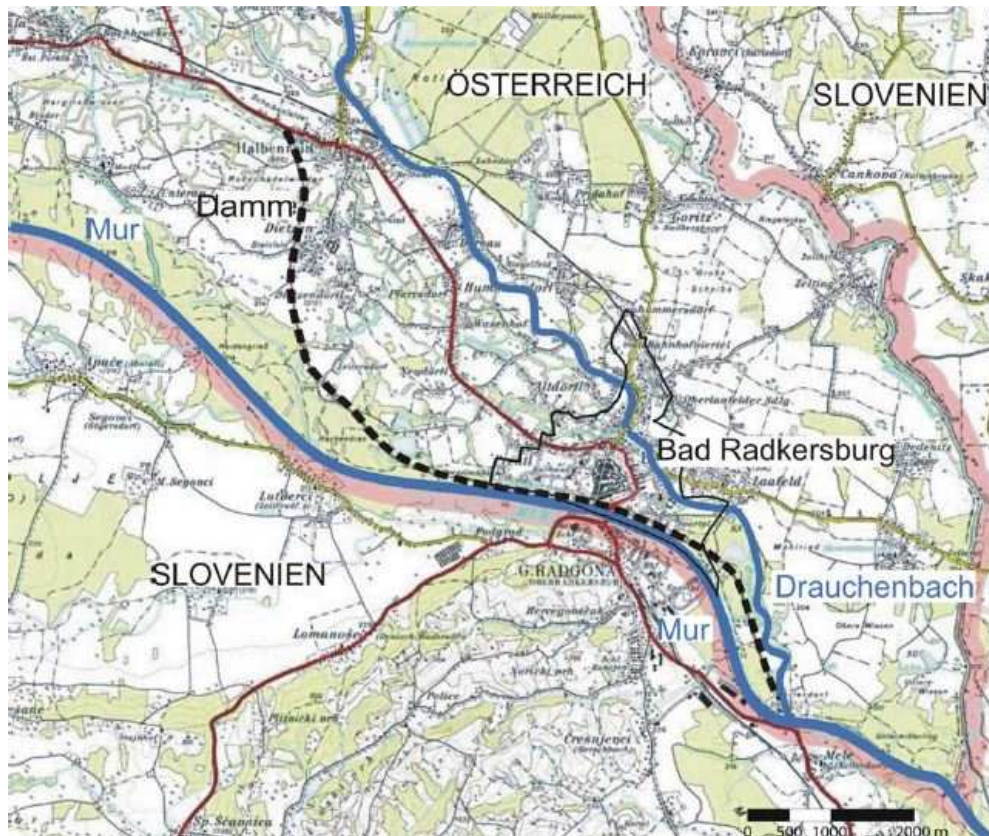


Abbildung 37 Lage von Radkersburg⁷⁸

Ein Damm von Halbenrain bis zur Mündung des Drauchenbachs wurde in den 1970er Jahren errichtet und auf ein HQ100 Ereignis ausgelegt. Durch das Freibord von 73cm laut Abflussberechnung der ständigen österreichisch-slowenischen Kommission für die Mur⁷⁹, bleibt die Mur sogar bis zu einem HQ300 Ereignis im Flussbett, jedoch ist der Damm durch Bewuchs in seiner Funktion eingeschränkt. Bei der folgenden Berechnung wird davon ausgegangen, dass der Damm durchlässig und damit eine Überflutung des Hinterlandes möglich ist.⁸⁰

⁷⁸ INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Pilotprojekt - Risikoanalyse Stadt Bad Radkersburg. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz, 2006. S. 9.

⁷⁹ STÄNDIGE ÖSTERREICHISCH-SLOWENISCHE KOMMISSION FÜR DIE MUR (Hrsg.): Wasserwirtschaftliches Grundkonzept für die Grenzmur - Phase I, 1998-2000. Ständige österreichisch-slowenische Kommission für die Mur. Wien, Ljubljana, 2000.

⁸⁰ Vgl. HUBER G.: Ermittlung eines Hochwasserschadenspotenzials für die Stadt Bad Radkersburg. Huber Gerhard. Graz, 2006.

5.2 Datengrundlagen

Die Datengrundlagen beruhen auf einem „Pilotprojekt - Risikoanalyse Stadt Bad Radkersburg“⁸¹ 2006, einer Diplomarbeit 2006 zur „Ermittlung eines Hochwasserschadenspotenzials für die Stadt Bad Radkersburg“⁸² und einer weiteren Diplomarbeit 2008 zur „Ermittlung des Hochwasserschadenspotentials und Kosten-Nutzen-Analyse von Hochwasserschutzbauten am Fallbeispiel Radkersburg-Umgebung“⁸³.

5.3 Abflussberechnung

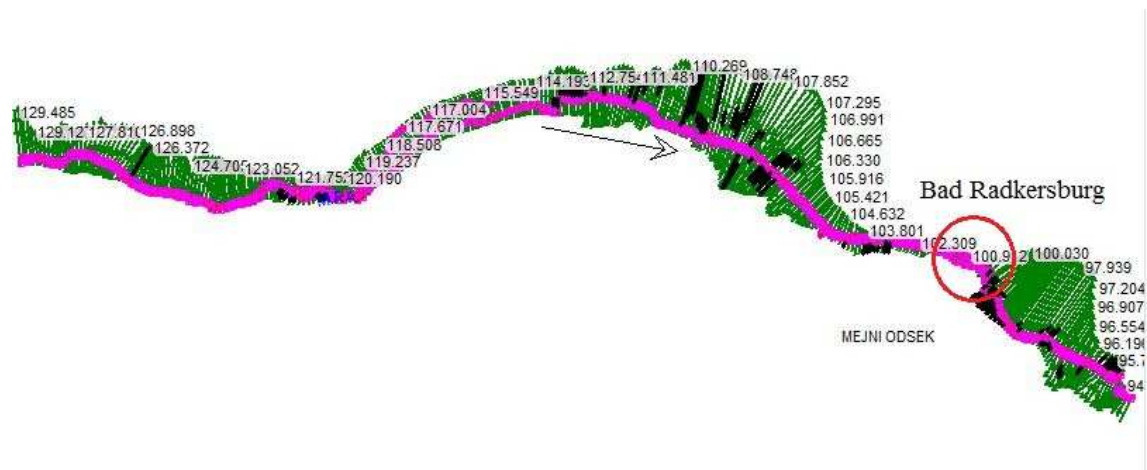


Abbildung 38 HEC-RAS Berechnung: Grenzmur

Die Ergebnisse der Abflussberechnung wurden aus der HEC-RAS Berechnung der Universität Ljubljana und dem Zivilingenieurbüro Kratzer für die Ständige österreichisch-slowenische Kommission für die Mur entnommen und mit dem HQ1000 erweitert⁸⁴. Für die Risikoberechnung wurde das Profil 62 bei Mur-Kilometer 101.233, siehe Abbildung 39, als Referenzprofil herangezogen, da es direkt flussabwärts der Murbrücke in Bad Radkersburg liegt.

⁸¹ INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.). Graz, 2006.

⁸² HUBER G.. Graz, 2006.

⁸³ HARB G.. Graz, 2008.

⁸⁴ STÄNDIGE ÖSTERREICHISCH-SLOWENISCHE KOMMISSION FÜR DIE MUR (Hrsg.).Wien, Ljubljana, 2000.

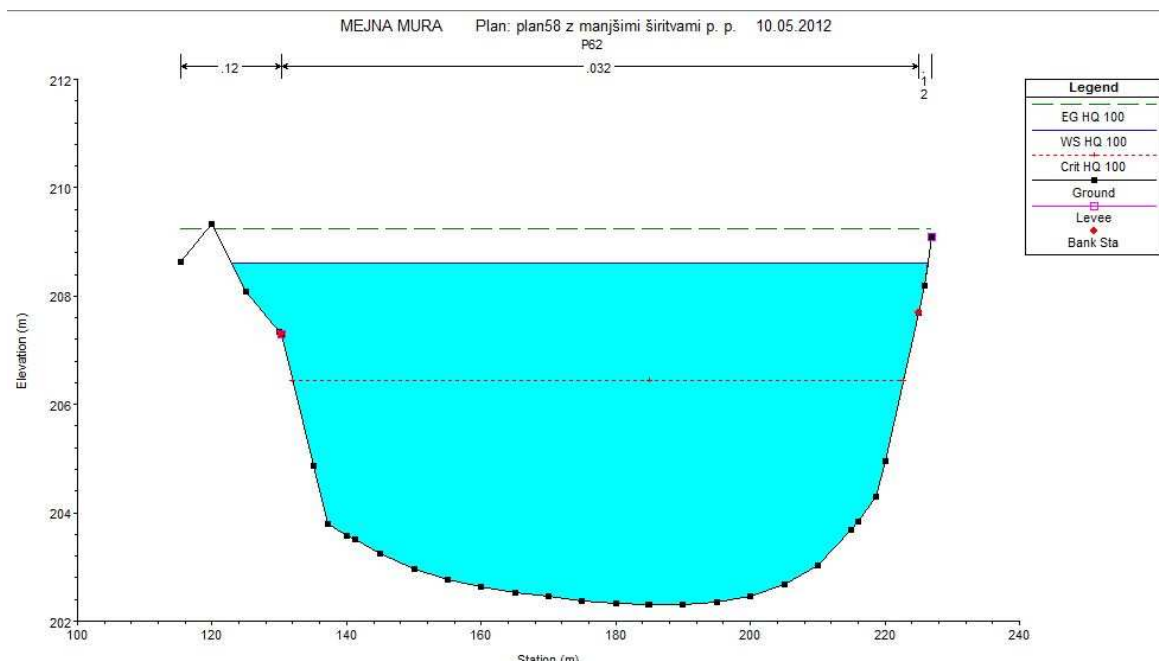


Abbildung 39 Profil 62, HQ100

Profil 62	Mur km - 101.233		
	Q [m ³ /s]	WS [müA]	v [m/s]
MQ	147		
HQ30	1490	208.1	3.2
HQ100	1800	208.61	3.5
HQ300	2040	208.95	3.73
HQ1000	2380	209.41	4.03

Tabelle 4 Abflussberechnung

5.4 ArcGIS

Die Überflutungsflächen von HQ100, HQ300 und HQ1000 wurden vom „Pilotprojekt - Risikoanalyse der Stadt Radkersburg“ übernommen und mit einem Katasterplan überlagert. Es erfolgte eine Unterteilung der Überflutungsflächen je nach Wasserhöhen in zehn Kategorien (Gridcode), welche in halb Meter-schritten unterteilt werden. Die Kategorien eins bis neun stellen die überfluteten

Gebiete dar. Lediglich die Flächen der Kategorie zehn sind vom Hochwasser nicht betroffen.⁸⁵

Wasserhöhen	Gridcode
-32 bis -4,0	1
-4,0 bis -3,5	2
-3,5 bis -3,0	3
-2,0 bis -1,5	4
-3,0 bis -2,5	5
-2,5 bis -2,0	6
-1,5 bis -1,0	7
-1,0 bis -0,5	8
-0,5 bis 0,0	9
0,0 bis 199,32	10

Tabelle 5 Legende Wasserhöhen

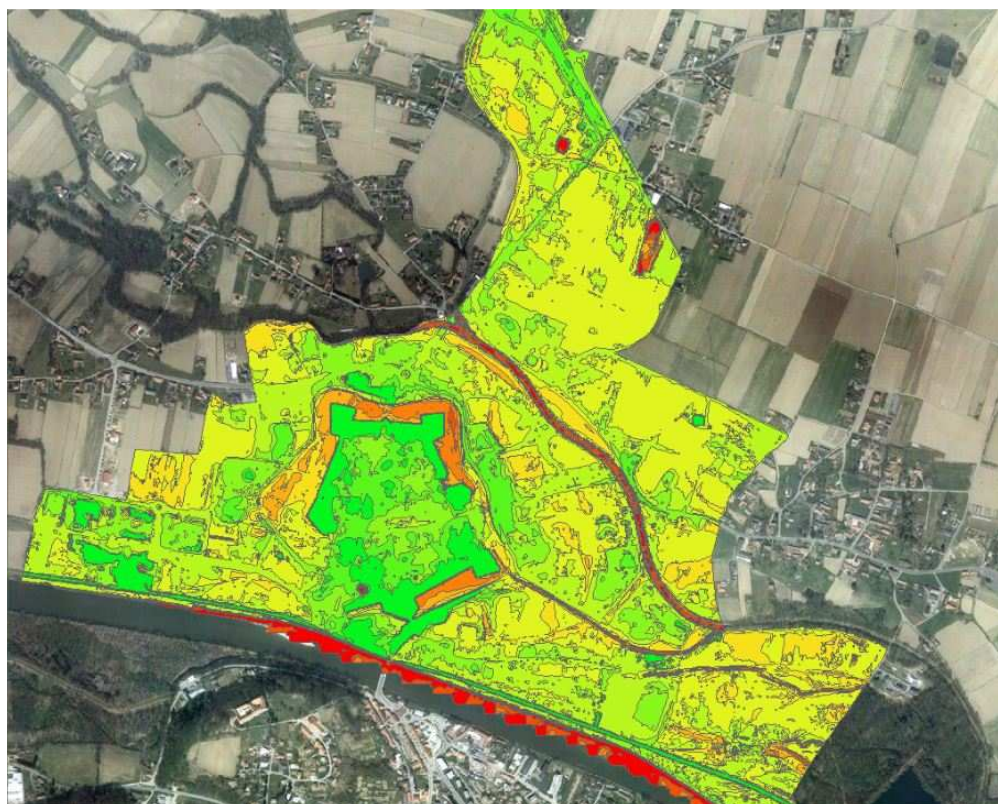


Abbildung 40 Überflutungsflächen bei HQ100

⁸⁵ INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.). Graz, 2006.

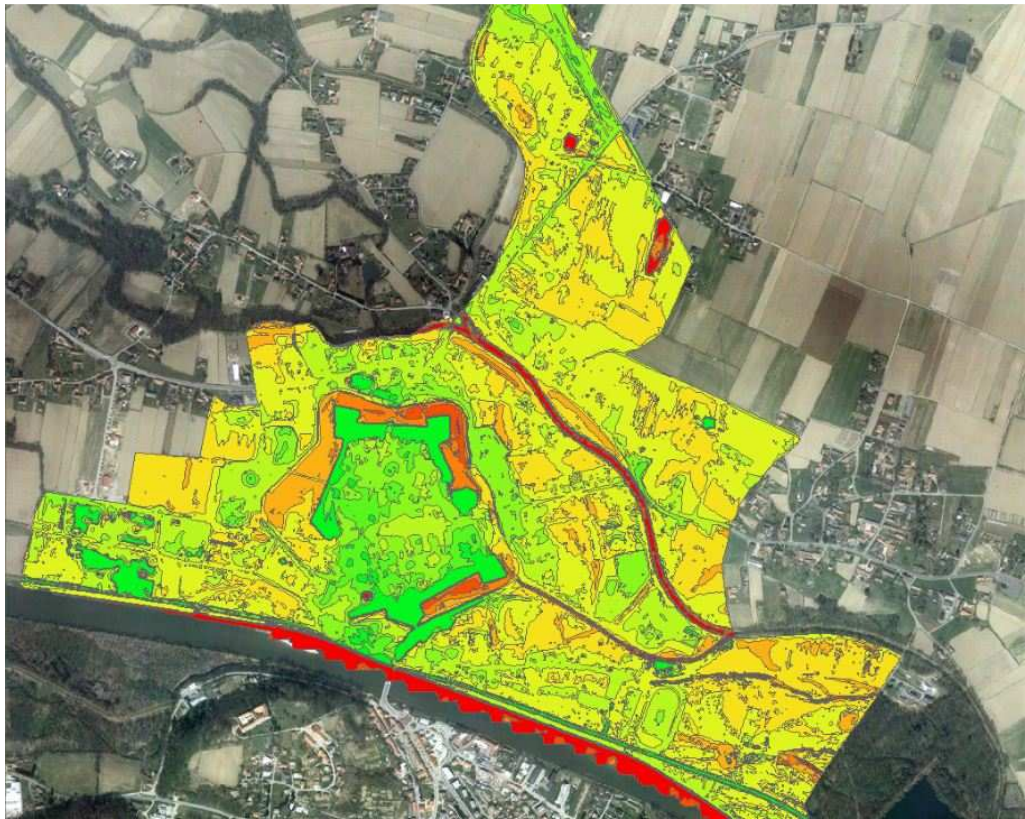


Abbildung 41 Überflutungsflächen bei HQ300

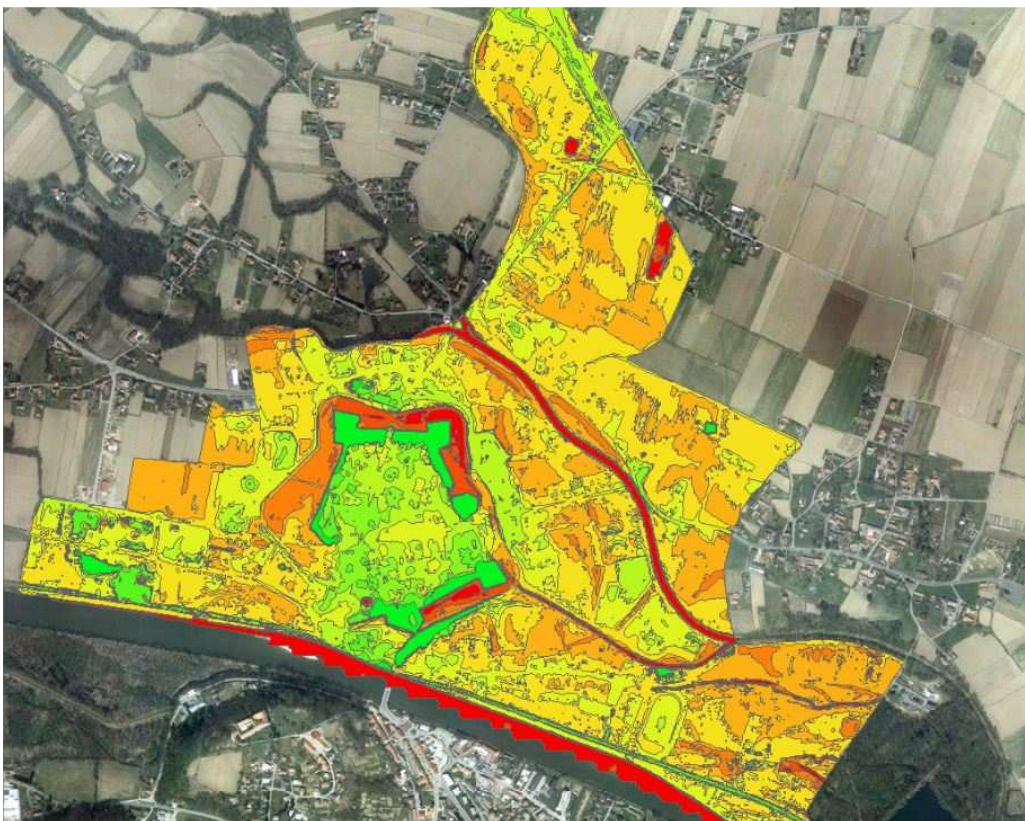


Abbildung 42 Überflutungsflächen bei HQ1000

Die dunkelrote gekennzeichneten Flächen und Linien wurden in der Flächenermittlung ausgeschlossen. Diese markieren ein stehendes Gewässer im Norden des Stadtgebietes, die wasserseitige Fläche des Damms im Süden sowie den Drauchenbach, der die Stadt quert.

Überflutete Flächen

	Grünfläche [m ²]	Gebäude [m ²]	Gesamt [m ²]
HQ100	1,698,025.91	152,675.30	1,850,701.21
HQ300	1,725,722.21	167,071.30	1,892,793.51
HQ1000	1,761,062.41	176,962.06	1,938,024.47

Tabelle 6 Überflutete Flächen

5.5 Risikoberechnung

Für eine Risikoberechnung von SUFRI wurden zu den Wassergeschwindigkeiten und Wasserständen aus HEC-RAS und den Überflutungsflächen aus ArcGIS noch Einwohnerzahl, durchschnittliche Anzahl der Stockwerke sowie die durchschnittlichen Referenzkosten pro überfluteten Quadratmeter ermittelt.

Demographie:

Die Einwohnerzahl von Bad Radkersburg wurde aus einer Zählung vom 31.10.2011 entnommen und beträgt 1337⁸⁶. Da sich Bad Radkersburg in einer Touristenregion befindet und mehr Menschen in Bad Radkersburg arbeiten als wohnen, aber davon ausgegangen werden kann, dass sich nie alle gleichzeitig im Gebiet aufhalten, wurde in der Zeitkategorie TC1 ‚Sommer Tag‘ die Einwohnerzahl direkt übernommen. In der Nacht wurde eine 30%ige Abminderung durchgeführt. Im Winter wurde eine Abminderung um 20% vorgenommen, da die Region vorwiegend vom Sommertourismus lebt.

⁸⁶ CITY POPULATION (Hrsg.): Bad Radkersburg. URL: http://www.citypopulation.de/php/austria-steiermark_d.php?cityid=61513 [Stand: 14.04.2012].

Einwohner im Untersuchungsgebiet		
Zeitkategorie TC	Bezeichnung	Einwohnerzahl
TC1	Sommer Tag	1337
TC2	Sommer Nacht	936
TC3	Winter Tag	1070
TC4	Winter Nacht	655

Einwohnerzahl von Bad Radkersburg 1337

Tabelle 7 Einwohner im Untersuchungsgebiet

Gebäudetypologie:

In Bad Radkersburg befinden sich nur wenige Gebäude die mehr als zwei Stockwerke haben. Die durchschnittliche Anzahl der Stockwerke von 1.96 wurde aus einer prozentmäßigen Darstellung, entnommen aus der Diplomarbeit von Huber, berechnet.⁸⁷

Anzahl der Stockwerke	1	2	3	4	5 <	Gesamt
Prozentmäßige Aufteilung	23	64	7	6	0	100
Durchschnittliche Anzahl der Stockwerke	1.96					

Tabelle 8 Durchschnittliche Anzahl der Stockwerke

Landnutzung und Referenzkosten:

Da sich in Bad Radkersburg keine Industriegebiete befinden, teilte man die Landnutzung in zwei Kategorien CU:

- Gebäude
- Grünfläche

Die Therme hinter dem Damm fällt in die Kategorie der Gebäude.

⁸⁷ HUBER G.. Graz, 2006.

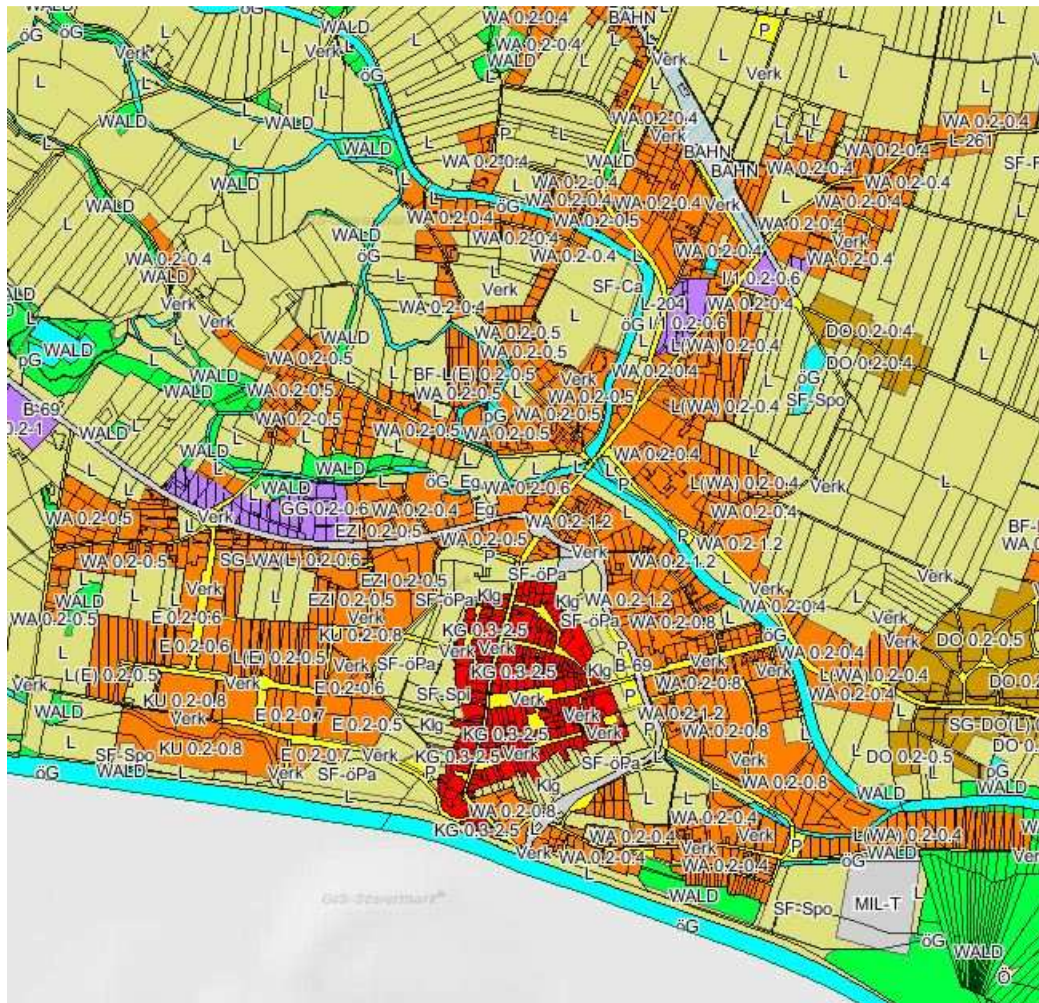


Abbildung 43 Katasterplan Bad Radkersburg⁸⁸

Um die durchschnittlichen Referenzkosten zu ermitteln, wurden aus der Arbeit von Harb die Schadenswerte pro überfluteten Quadratmeter des Amtes der niederösterreichischen Landesregierung übernommen und mit den Überflutungsflächen aus ArcGIS multipliziert.

⁸⁸ LAND STEIERMARK (Hrsg.): Digitaler Atlas Steiermark - Planung und Kataster. URL: <http://gis2.stmk.gv.at/atlas/%28S%28vzw2bt45xsiuqp45a5ejck45%29%29/init.aspx?ks=das&cms=da&karte=kata> [Stand: 18.05.2012].

WOHNGESCHOSS	GEBÄUDE	INVENTAR ⁴⁾
HW bis ca. 30 cm über FOK	139,-- / m ²	40,-- / m ²
HW mehr als 30 cm über FOK	414,-- / m ²	130,-- / m ²

Abbildung 44 Schadensansätze des Amtes der niederösterreichischen Landesregierung⁸⁹

Durchschnittliche Referenzkosten pro überfluteten Quadratmeter

Schaden bei Grünfläche [€/m ²]	2.60			
Schaden bei Gebäude [€/m ²]*	414.00			
	Grünfläche [m ²]	Gebäude [m ²]	Gesamt [m ²]	Schaden [€/m ²]
HQ100	1698025.91	152675.30	1850701.21	36.54
HQ300	1725722.21	167071.30	1892793.51	38.91
HQ1000	1761062.41	176962.06	1938024.47	40.17

Gesamte Fläche von Bad Radkersburg 2140927.3 m²

*Ohne Inventar da die Wasserhöhen nicht mitberücksichtigt werden.
Bei Wasserhöhen < 30cm ist der Schaden deutlich geringer

Tabelle 9 Durchschnittliche Referenzkosten

Vorwarnzeit und andere nichtbauliche Maßnahmen:

Da sich direkt neben dem Damm Gebäude befinden und keine genaueren Daten zur Vorwarnzeiten TW bekannt waren, wurde diese mit 0 Stunden angenommen.

Es wurden Risikoberechnungen für nichtbauliche Maßnahmen der Kategorie C6 und C10 durchgeführt.

Kategorie C6:

- Hochwasserschutzpläne existieren
- die Koordination der Rettungskräfte ist intakt
- die Kommunikation mit der Öffentlichkeit funktioniert
- die Schulung der Öffentlichkeit ist jedoch noch ausbaufähig

⁸⁹ HARB G., Graz, 2008. S. 38.

Kategorie C10:

- Hochwasserschutzpläne existieren und haben sind bewährt
- die Koordination der Rettungskräfte ist intakt und erprobt
- die Kommunikation mit der Öffentlichkeit funktioniert hervorragend
- die Öffentlichkeit ist geschult

5.6 Risikomodell

Die Auswertung der Daten in F-D und F-N Graphen wurde mit dem Programm iPresasUrbanSimp durchgeführt, welches an der polytechnischen Universität Valencia entwickelt und im Rahmen des Forschungsprojekts von SUFRI weiterentwickelt wurde, durchgeführt. Für beide Szenarien der Kategorie C verwendete man das System ‚River flooding (unregulated river)‘ - ‚Hochwasser an unreguliertem Fluss‘. Es wurde das System ‚Hochwasser an unreguliertem Fluss‘ da der Damm in den Berechnungen als durchlässig angesehen wird.

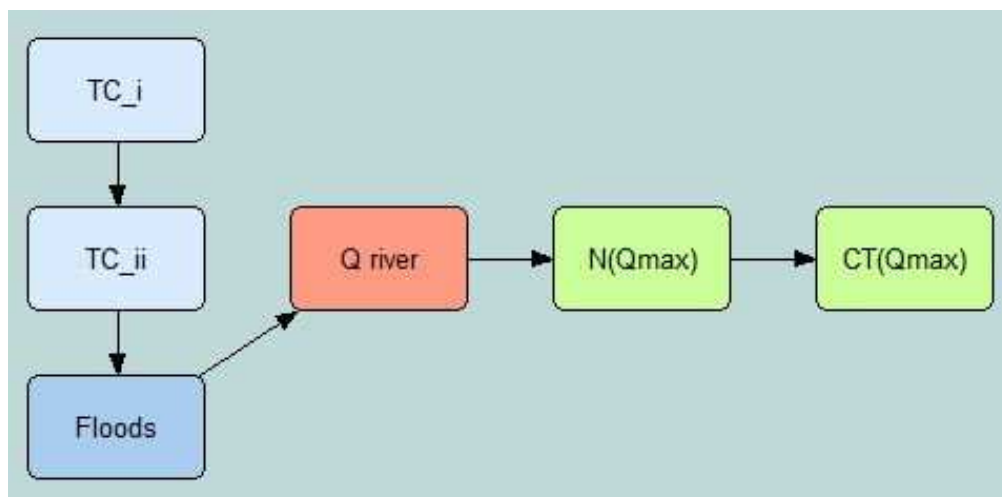


Abbildung 45 Schemaskizze aus iPresasUrbanSimp

In Tabelle 10 folgt eine kurze Erklärung der Schemaskizze und ihren einzelnen Knoten aus Abbildung 42. TC_i, TC_ii und Floods werden direkt ins Programm eingegeben und Q river, N(Qmax) und CT(Qmax) aus externen Exelfiles hochgeladen.

Knoten	Deutsche Bezeichnung	Beschreibung	Parameter
TC _i	Zeitkategorie _i	Definiert die Eintrittswahrscheinlichkeit im Sommer und im Winter	Sommer/Winter
TC _{ii}	Zeitkategorie _{ii}	Definiert die Eintrittswahrscheinlichkeit am Tag und in der Nacht	Tag/Nacht
Floods	Hochwasserszenarien	Wiederkehrdauer T und Eintrittswahrscheinlichkeit AEP der unterschiedlichen Hochwasserszenarien	T, AEP
Q river	Abflussdaten des Flusses	Ablussmenge der unterschiedlichen Hochwasserszenarien	T, Q _{max}
N(Q _{max})	Anzahl der Todesopfer	Anzahl der Todesopfer in den unterschiedlichen Zeitkategorien, je nach Hochwasserszenario	Q _{max} , Leben
CT(Q _{max})	Ökonomischer Schaden	Zu erwartender ökonomischer Schaden, je nach Hochwasserszenario	Q _{max} , Euros

Tabelle 10 Beschreibung der Knoten von iPresasUrbanSimp⁹⁰

5.7 Ergebnisse

Grundlegend erfolgte die Darstellung von zwei Szenarien:

- aktuelle Situation (von 2006) mit nichtbaulichen Maßnahmen der Kategorie C6
- Verbesserte Situation der nichtbaulichen Maßnahmen, Kategorie C10

⁹⁰ BUENO I. E., TORRES A. M., RODRIGUEZ J. T. C., MOMPALER S. P..2010.

	ökonomisches Schadensausmaß in €					
	direkte Kosten		indirekte Kosten		gesamt Kosten	
	C6	C10	C6	C10	C6	C10
HQ30	0	0	0	0	0	0
HQ100	52,070,959	41,656,767	14,059,159	11,247,327	52,904,094	66,130,118
HQ300	56,709,419	45,367,535	15,311,543	12,249,234	57,616,769	72,020,962
HQ1000	59,944,841	47,955,873	16,185,107	12,948,086	60,903,959	76,129,948

Tabelle 11 Ökonomisches Schadensausmaß

Die errechneten Gesamtkosten wurden mit der Berechnung von Harb und Huber verglichen, siehe Tabelle 12. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind auf mehrere Gründe zurück zu führen. Zum Einen wurden bei der Berechnung mit der Methode von SUFRI, die indirekten Kosten mit 27% der direkten Kosten mit berücksichtigt.

In die Kategorie der indirekten Kosten fallen unter anderem auch Kosten, die in den direkten Kosten nicht berücksichtigt werden.

Indirekte Kosten:

- Imageschaden
- Produktionsausfall bei Gewerbe
- Aufwände für Notfallmaßnahmen und Aufräumarbeiten
- Umweltschäden
- Schäden am Hochwasserschutzdamm

Zum Anderen gehen die Wassertiefen bei den überfluteten Flächen nicht in die Kalkulation mit ein. Da aber der entstehende Schaden stark von der Wassertiefe abhängt, müssen durchschnittliche Referenzkosten ermittelt werden.

Schadensart	HQ100 [EUR]	HQ300 [EUR]	HQ1000 [EUR]
Gesamtschaden Radkersburg-Umgebung	32.683.588,44	39.389.211,71	50.784.967,02
Gesamtschaden Stadt Radkersburg nach Huber	43.423.212,30	49.857.925,49	54.248.641,45

Tabelle 12 Ökonomisches Schadensausmaß laut HARB⁹¹

Abbildung 46 stellt den ökonomischen Schaden mit unterschiedlichem Ausbaugrad nichtbaulicher Maßnahmen dar. Dabei wird deutlich, dass eine Verbesserung der nichtbaulichen Maßnahmen den Schaden reduzieren kann.

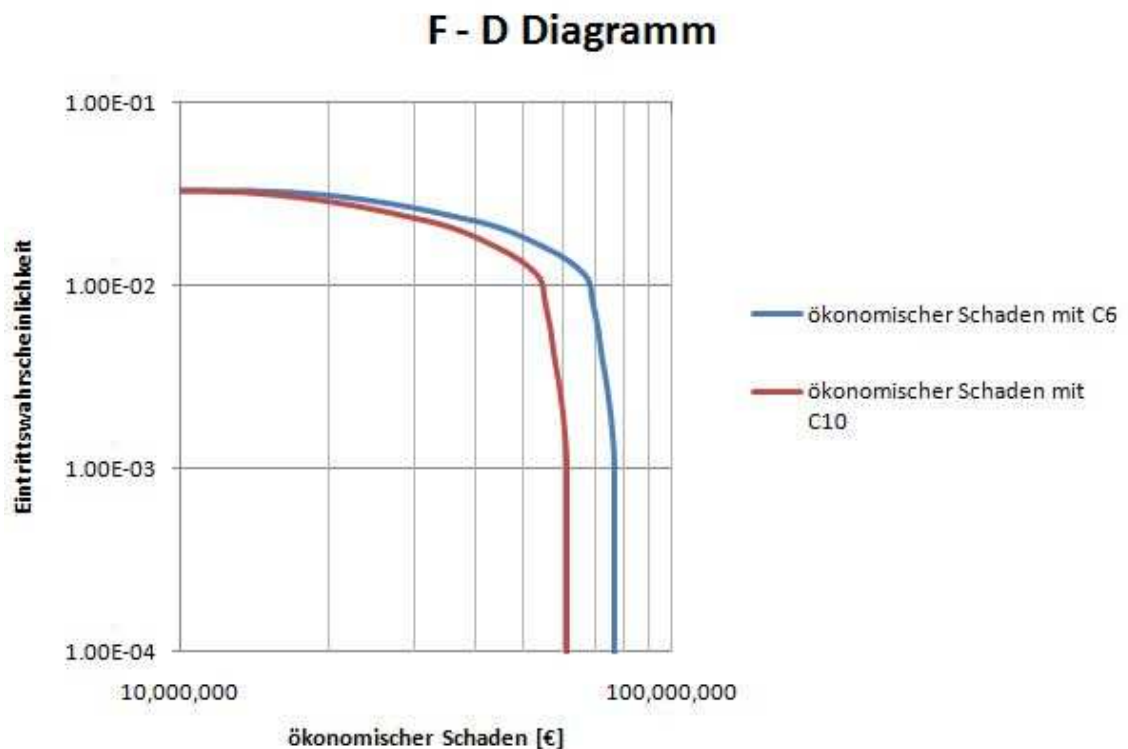


Abbildung 46 F - D Diagramm

Um den Verlust an menschlichen Leben zu ermitteln, wurden diese in vier Zeitkategorien unterteilt. Dabei folgte eine Unterscheidung zwischen Sommer und Winter und Tag und Nacht.

⁹¹ HARB G.. Graz, 2008.

Verlust an Menschenleben C6				
	Sommer		Winter	
	Tag TC1	Nacht TC2	Tag TC3	Nacht TC4
HQ30	0	0	0	0
HQ100	9	11	12	16
HQ300	9	12	12	17
HQ1000	10	12	12	17

Verlust an Menschenleben C10				
	Sommer		Winter	
	Tag TC1	Nacht TC2	Tag TC3	Nacht TC4
HQ30	0	0	0	0
HQ100	2	5	3	7
HQ300	3	7	4	10
HQ1000	4	8	6	12

Tabelle 13 Schaden an Menschenleben

Diese Ergebnisse konnten mit dem Programm iPresasUrbanSimp von SUFRI zu einer F-N Grafik zusammengefügt werden. Erneut galt es, die nichtbaulichen Maßnahmen der Kategorien C6 und C10 zu untersuchen.

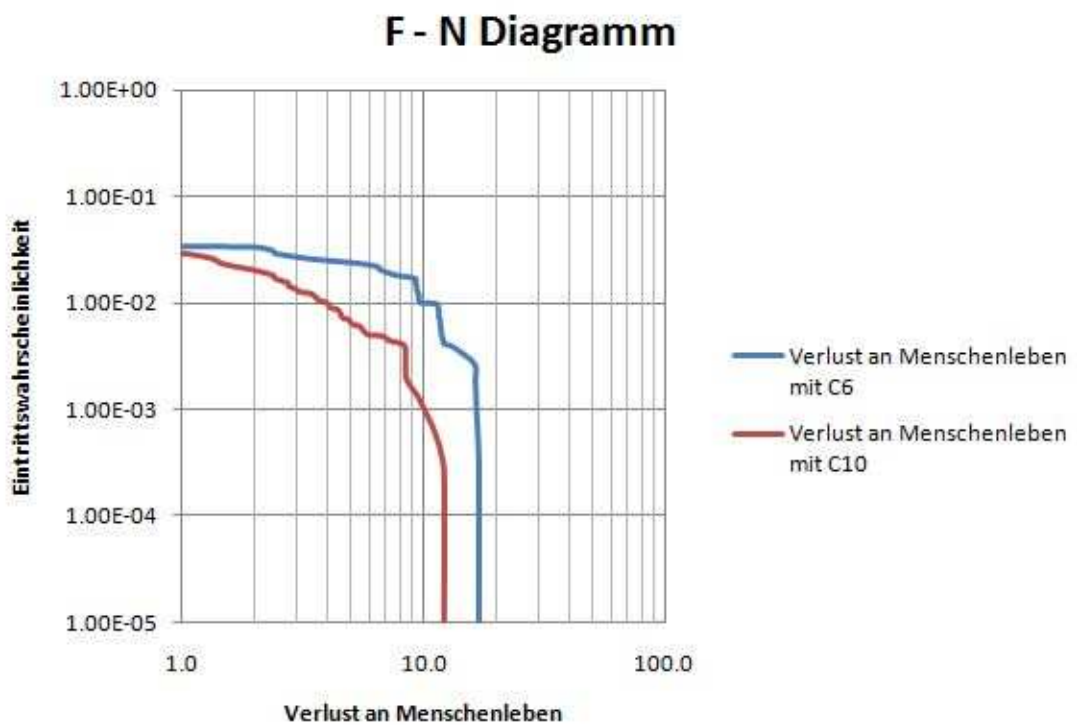


Abbildung 47 F - N Diagramm

6. Gesamtresümee und Ausblick

Im theoretischen Teil dieser Masterarbeit werden zunächst grundlegende Zusammenhänge über Hochwasser und Risikobewertung dargestellt. Insbesondere steht dabei die Risikobewertung anhand der Methode von SUFRI im Vordergrund. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung und Diskussion der Begriffe dient der Vorbereitung auf die Fallbeispiele Schöckelbach und Bad Radkersburg. Die Risikoberechnungen hierfür bilden den praktischen Teil der Arbeit.

Zuerst werden die Abflussdaten, wie Wassergeschwindigkeit und Wasserspiegel, durch eine stationäre 1D Abflussberechnung mit dem Computerprogramm HEC-RAS ermittelt. Des Weiteren werden die Überflutungsflächen mit ArcGIS berechnet. Dabei ergeben sich beim Fallbeispiel Schöckelbach jedoch Schwierigkeiten. Denn auf Grund der geografischen Gegebenheiten des stetig abfallenden Geländes ist eine realistische Ermittlung der überfluteten Flächen in einer 1D Berechnung nicht möglich. Daraus wird die Erkenntnis gewonnen, dass für eine realistische Darstellung der Überflutungsflächen eine 2D Berechnung durchgeführt werden müsste. Dies hätte jedoch den Zeitrahmen dieses Projektes gesprengt.

Da es jedoch Anliegen dieser Arbeit ist, die Methode von SUFRI anzuwenden, wird eine Risikobewertung für die Stadtgemeinde Bad Radkersburg vorgenommen. Von großem Vorteil ist, dass bereits eine Risikobewertung, berechnet nach einer anderen Methode, aus dem Jahr 2006 vorliegt. Somit können die Ergebnisse verglichen werden. Die direkten Kosten stimmten dabei annähernd überein.

Zusammenfassend kann daher gesagt werden, dass die Methode von SUFRI anwendbar ist und ein plausibles Ergebnis liefert. Allerdings könnten zur Verbesserung der Methode die Wasserstandhöhen der überfluteten Flächen direkt in die Berechnung einfließen.

Abkürzungsverzeichnis

AEP	jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit
A _f	Flooded area - Überflutete Fläche
ArcGIS	Geografisches Informationssystem
C	Categorie C - Kategorie für nichtbauliche Maßnahmen
CT	Ökonomischer Schaden
CU	Landuse categorie - Landnutzung
d	Density value - Bevölkerungsdichte
DV	Parameter der den Hochwasserabfluss und den Mittelwasserabfluss subtrahiert und mit der Überflutungsbreite vergleicht
F-D	Darstellung von Eintrittswahrscheinlichkeit- Ökonomischer Schaden
F-N	Darstellung von Eintrittswahrscheinlichkeit - Verlust an Menschenleben
FR	Fatality rate - Sterblichkeitsrate
H	Wasserstand
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center - River Analysis System - Hydraulisches Ingenieurszentrum - System für Fluss Analysen
HQ _x	Hochwasserabflussmenge welches statistisch in ein Mal in x Jahren auftritt
MQ	Mittlere Abflussmenge
N	Number of potential fatalities - Anzahl der Todesofer
PR	Population at risk - Anzahl der Menschen die sich im Gefahrenbereich aufhalten

Q	Abflusswassermenge
Q _{br}	Abflusswassermenge bei Fehlverhalten oder Überströmen der baulichen Schutzmaßnahmen
Q _{nbr}	Abflusswassermenge bei intakten baulichen Schutzmaßnahmen
RFR	Kategorie für nichtbauliche Maßnahmen
SUFRI	Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management with non-structural measures to cope with the residual risk - Nachhaltige Strategien für das Hochwasserschutzmanagement in Städten zur Beherrschung des Restrisikos mit nicht-baulichen Maßnahmen
Sv	Flood severity - Tragweite des Hochwassers
TC	Time Kategorie - Zeitkategorie
TW	Warning Time - Vorwarnzeit
v	Geschwindigkeit des Hochwassers

Literaturverzeichnis

a) Literatur:

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT SEKTION WASSER (Hrsg.): Deichquerschnitte (Hochwasserschutzdämme) - Empfehlung für die Ausbildung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, 2007.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Hochwasserschutz in Österreich. 2. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, 2006.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Leben mit Naturgefahren - Ratgeber für Eigenvorsorge bei Hochwasser, Muren, Lawinen, Steinschlag und Rutschungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium). Wien, 2010.

CASTILLO-RODRIGUEZ J.T., ESCUDOR-BUENO I., MORALES-TORRES A., PARLES-MOMPARLER S. : SUFRI - WP3. Institute of Water Engineering and Environment. Valencia, 2010.

DEUTSCHES KOMITEE FÜR KATASTROPHENVORSORGE e.V. (Hrsg.): Hochwasservorsorge in Deutschland - Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V.. Bonn, 2003.

FRATER H., LOHMANN D., PODBREGAR N., SCHWANKE K.: Naturkatastrophen. Wirbelstürme, Beben, Vulkanausbrüche - Entfesselte Gewalten und Ihre Folgen. 2. Auflage. Springer. Berlin Heidelberg, 2009.

FRISCH M. zitiert in: Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT (Hrsg.): Alpine Naturkatastrophen. Lawinen - Muren - Felsstürze - Hochwässer. Leopold Stocker Verlag. Graz, 2009.

HAUSSTEINER W.: Hochwasserschutzdämme - Pflege und Instandhaltung. Land Salzburg Fachabteilung 6/6 - Wasserwirtschaft. Salzburg, 2004.

HARB G.: Ermittlung des Schadenspotentials und Kosten-Nutzen-Analyse von Hochwasserbauten am Fallbeispiel Radkersburg-Umgebung. Harb Gabriele. Graz, 2008.

HUBER G.: Ermittlung eines Hochwasserschadenspotenzials für die Stadt Bad Radkersburg. Huber Gerhard. Graz, 2006.

INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Pilotprojekt -Risikoanalyse Stadt Bad Radkersburg. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz, 2006.

INTERNATIONALE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT INTERPRAEVENT (Hrsg.): Alpine Naturkatastrophen. Lawinen - Muren - Felsstürze - Hochwässer. Leopold Stocker Verlag. Graz, 2009.

KRAINER R.: Möglichkeiten und Grenzen des Hochwasserschutzes - Risikoabschätzung und -bewertung am Beispiel von Hochwasserrückhaltebecken. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Technische Universität Graz. Graz, 2003.

MERZ B.: Hochwasserrisiken - Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, 2006.

PETRASCHECK A. : Hochwasser. S. 69 - 72. In: OcCC (Hrsg.): Extremereignisse und Klimaänderung. OcCC. Bern, 2003.

STÄNDIGE ÖSTERREICHISCH-SLOWENISCHE KOMMISSION FÜR DIE MUR (Hrsg.): Wasserwirtschaftliches Grundkonzept für die Grenzmur - Phase I, 1998-2000. Ständige österreichisch-slowenische Kommission für die Mur. Wien, Ljubljana, 2000.

b) Gesetze und Vorschriften:

EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007.

c) Internetdokumente:

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Entstehung von Hochwasser.

URL: http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_entstehung/index.htm

[Stand: 12.02.2012].

CITY POPULATION (Hrsg.): Bad Radkersburg. URL:

http://www.citypopulation.de/php/austria-steiermark_d.php?cityid=61513

[Stand: 14.04.2012].

US ARMY CORPS OF ENGINEERS (Hrsg.): HEC-RAS - River Analysis System Hydraulic Referenc Manual Version 4.1. US Army Corps of Engineers. Davis, 2010. URL: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/hydref/>

[Stand: 20.12.2011].

FRENZEL M.: Oberseminarvortrag. Thema: Die Ursache von Hochwässern.

URL: <http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/oberseminar/os98/frenzel.PDF>

[Stand: 12.02.2012].

HECKE B., MARCHER D.: URL:

<http://www.kleinezeitung.at/steiermark/grazumgebung/weinitzen/2113937/naechtlisches-unwetter-hinterlaesst-chaos.story> [Stand: 15.01.2012].

JÖBSTL C., KNOBLAUCH H., ZECHNER S.(Hrsg.): SUFRI. Kurzfassung des Endberichtes. URL:

http://www.sufri.tugraz.at/images/stories/downloads/reports/sufri_endbericht_kurzfassung_gesamt.pdf [Stand: 29.01.2012].

LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.): Hochwasserschutz durch schutzwasserbauliche Maßnahmen. URL: <http://www.land->

oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xchg/ooe/hs.xsl/59031_DEU_HTML.htm

[Stand: 15.02.2012].

LAND STEIERMARK (Hrsg.): Digitaler Atlas Steiermark - Planung und Kataster.

URL:

<http://gis2.stmk.gv.at/atlas/%28S%28vzw2bt45xsiuqp45a5ejck45%29%29/init.aspx?ks=das&cms=da&karte=kat> [Stand: 18.05.2012].

NEWS: Flut in Österreich - Es begann mit harmlosen Regen.... URL:

<http://www.news.at/nw1/gen/slideshows/slide/show;chronik/inland/katastrophen/hochwasser/2002/august/1;/kid;10?flags=nopop;1> [Stand: 13.02.2012].

PAGENKOPF A.: Hochwasser. Geographisches Institut der Humboldt Universität zu Berlin. URL: http://album.iimaps.de/projekte/bode/handout_hw.PDF

[Stand: 12.02.2012].

RAIFFEISEN (Hrsg.): ImmoPreisAtlas. URL:

<http://www.immopreisatlas.at/Default.aspx?bundesland=6&bezirk=601&immoType=3> [Stand: 05.05.2012].

STADT GRAZ (Hrsg.): Daten und Fakten - Bezirk Andritz. URL:

<http://www.graz.at/cms/beitrag/10180729/4216891> [Stand: 12.04.2012].

STADT GRAZ (Hrsg.): Web GIS - Bäche in Graz. URL:

<http://geodaten1.graz.at/WebOffice/synserver?project=baeche>

[Stand: 03.05.2012].

STADT GRAZ (Hrsg.): Web GIS - Flächenwidmungsplan. URL:

http://geodaten1.graz.at/WebOffice/synserver?project=flaewi_3

[Stand: 19.04.2012].

STEIERMARK AKTIV (Hrsg.): Bezirke in der Steiermark. URL:

http://www.steiermark-aktiv.at/ausflugsziele/1_1_37_aktiv [Stand 12.05.2012].

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Was sie über vorsogenden Hochwasserschutz wissen sollten. Quedlinburg Druck GmbH. Dessau. URL:

http://www.ufz.de/export/data/1/26724_Hochwasserschutz.pdf

[Stand: 14.02.2012].

WASSERLAND STEIERMARK. Die Wasserzeitschrift der Steiermark: SUFRI Nachhaltige Strategien für Hochwasserschutzmanagement in Städten zur Beherrschung des Restrisikos mit nicht-technischen Maßnahmen. S16 - 19 Heft 1, Graz: Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark, 2010: URL:

http://www.wasserland.steiermark.at/cms/dokumente/10046052_1356921/a58149cf/wasserland_1_2010_ak2.pdf [Stand: 17.01.2012].

d) Weitere Quellen (Vorträge, Präsentationen,...):

HARB G., JÖBSTL C., und ORTNER S.: Risiko- und Katastrophenmanagement Skriptum. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz, 2009.

HORNICH R., WIENER R.: 4. Grazer Bäche-Enquete. Graz, 2007.

SACKL B. J.: 04 - Schöckelbach. Ingenieur Büro Hydroconsult. Graz, 1997.

SACKL B. J.: Schöckelbach, n-jährliche Hochwasserabflüsse. Ingenieur Büro Hydroconsult. Graz, 2009.

STADT GRAZ - FACHABTEILUNG FÜR GRÜNRAUM UND GEWÄSSER (Hrsg.): Gebäudestudie Andritz. Stadt Graz. Graz, 2010.

ZENZ G.: Vorlesungsmanuskript Hydraulic Engineering and Water Resources Management. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz, 2011.

ZENZ G.: Vorlesungsmanuskript - Projektierung wasserbaulicher Anlagen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Graz, 2011/2012.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hochwasser im August 2009 am Schöckelbach in Graz	1
Abbildung 2 Siedlungsentwicklung von Graz	4
Abbildung 3 „Jahrhundert Hochwasser“ Niederösterreich	9
Abbildung 4 Einfluss der Einzugsgebietsform auf das Abflussverhalten	12
Abbildung 5 Überlagerung der Hochwasserwellen.....	13
Abbildung 6 Auswirkungen von Grundwasseranstieg und Überschwemmungen	16
Abbildung 7 Hochwasserschutzmaßnahmen zur Minimierung von Schäden ...	17
Abbildung 8: Verschiedene Bauweisen von Dämmen.....	20
Abbildung 9 Dampfpflege und Instandhaltung	21
Abbildung 10 Hochwasserrückhaltebecken Lageplan.....	23
Abbildung 11 Sandsäcke/ Dammbalken	24
Abbildung 12 Aufwand-Risiko-Diagramm.....	25
Abbildung 13 Risiko als Resultat der Interaktion von Gefährdung und Vulnerabilität.....	27
Abbildung 14 Schematische Darstellung des Prozesses der Risikoanalyse	29
Abbildung 15 Anwendung eines quantitativen logischen Ereignisbaums.....	31
Abbildung 16 Prinzip der Monte-Carlo-Simulation.....	32
Abbildung 17 F-N Diagramm Auswirkung von baulichen Maßnahmen	36
Abbildung 18 F-N Diagramm - Auswirkungen von nichtbaulichen- auf bauliche Maßnahmen.....	37
Abbildung 19 Schematischer Ablauf der Methode von SUFRI.....	39
Abbildung 20 Ablauf zur Ermittlung von Hochwasserrisiken	42
Abbildung 21 Formel für menschliche Verluste.....	43
Abbildung 22 Formel für den ökonomischen Gesamtschaden.....	43
Abbildung 23 Formel für direkte Kosten	43

Abbildung 24 Lageplan Schöckelbach	46
Abbildung 25 Energiegleichung.....	47
Abbildung 26 Schöckelbach in HEC-RAS	48
Abbildung 27 Profil 185 und Profil 21	49
Abbildung 28 Brückenberechnung	50
Abbildung 29 Impulsgleichung	51
Abbildung 30 Brücke in Profil 185.1	52
Abbildung 31 Erstellung der Brücke in Profil 185.1	53
Abbildung 32 Verschobene Flussachse	55
Abbildung 33 Überflutungsflächen HQ10	56
Abbildung 34 Überflutungsflächen HQ100	56
Abbildung 35 Katasterplan Andritz	59
Abbildung 36 Bezirke in der Steiermark	61
Abbildung 37 Lage von Radkersburg	62
Abbildung 38 HEC-RAS Berechnung: Grenzmur	63
Abbildung 39 Profil 62, HQ100.....	64
Abbildung 40 Überflutungsflächen bei HQ100	65
Abbildung 41 Überflutungsflächen bei HQ300	66
Abbildung 42 Überflutungsflächen bei HQ1000	66
Abbildung 43 Katasterplan Bad Radkersburg	69
Abbildung 44 Schadensansätze des Amtes der niederösterreichischen Landesregierung.....	70
Abbildung 45 Schemaskizze aus iPresasUrbanSimp.....	71
Abbildung 46 F - D Diagramm.....	74
Abbildung 47 F - N Diagramm.....	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Abflussdaten.....	54
Tabelle 2 Einwohner im Untersuchungsgebiet.....	58
Tabelle 3 Durchschnittliche Anzahl der Gebäude	58
Tabelle 4 Abflussberechnung.....	64
Tabelle 5 Legende Wasserhöhen	65
Tabelle 6 Überflutete Flächen	67
Tabelle 7 Einwohner im Untersuchungsgebiet.....	68
Tabelle 8 Durchschnittliche Anzahl der Stockwerke.....	68
Tabelle 9 Durchschnittliche Referenzkosten	70
Tabelle 10 Beschreibung der Knoten von iPresasUrbanSimp	72
Tabelle 11 Ökonomisches Schadensausmaß.....	73
Tabelle 12 Ökonomisches Schadensausmaß laut HARB	74
Tabelle 13 Schaden an Menschenleben	75