

Technische Universität Graz
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft



Schnittstellen im Katastrophenschutz der Stadt Graz am Beispiel Hochwasser

Masterarbeit
von
Robert STRUKELY

Vorgelegt zur Erlangung des
akademischen Grades eines Diplomingenieurs
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

Graz, im März 2011

Betreuer der Masterarbeit:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Zenz

.....

Betreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Alfred Hammer

.....

Eidesstattliche 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 Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, im März 2011

.....

Vorwort und Danksagung

In erster Linie darf ich mich bei den Mitarbeitern des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz, allen voran Institutsvorstand Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Zenz, für die Möglichkeit bedanken, die vorliegende Masterarbeit durchführen zu können, sowie meinem Betreuer Dipl.-Ing. Dr.techn. Alfred Hammer für die tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gebührt auch der Berufsfeuerwehr Graz, insbesondere deren stellvertretenden Branddirektor, Ing. Dr. Alfred Pölzl, MSc, sowie Einsatzdirektor Ing. Heimo Krajnc für die Mitbetreuung dieser Arbeit, die interessanten und lehrreichen Gespräche, die zur Verfügung Stellung von Unterlagen sowie die Möglichkeit, viele persönliche Erfahrungen zu sammeln. Ebenso bedanke ich mich bei den beiden Dienstgruppen der Zentralfeuerwache Lendplatz für die freundliche Aufnahme in ihren Reihen.

Meiner Familie danke ich für die Möglichkeit, dieses Studium absolvieren zu können und die Unterstützung über meine gesamte Studiendauer. Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei den vielen Personen anderer Organisationen, die mich mit vielseitigen Informationen versorgt und durch ihre Ideen und Sichtweisen die vorliegende Arbeit ebenso positiv beeinflusst haben.

Kurzfassung

Hochwasserereignisse stellen immer wieder eine Bedrohung auch für die Bevölkerung Österreichs dar. Gerade in den letzten Jahren stellten Überflutungen die Einrichtungen des Katastrophenschutzes vor immer neue Herausforderungen. In der Vorsorge und der Bewältigung dieser Ereignisse überschneiden sich die Aufgaben des Katastrophenschutzes sowie jene des Bauingenieurwesens in vielen Bereichen. Daraus lässt sich die Erfordernis einer engen Zusammenarbeit dieser beiden Gruppen ableiten.

Die vorliegende Masterarbeit stellt die Herangehensweisen an ein Hochwasserereignis aus der Sicht beider Disziplinen dar und soll so einen Überblick über die komplexen Strukturen im jeweiligen Hintergrund bieten. Anhand der aufbereiteten Informationen wird eine gemeinsame Basis geschaffen, die den Einstieg in die beschriebene Thematik erleichtern soll. In weiterer Folge wird anhand des spezifischen Beispiels einer Abflussuntersuchung gezeigt, wie künftig die Zusammenarbeit zwischen Katastrophenschutz und Bauingenieurwesen noch weiter verstärkt werden kann.

Die vorliegende Masterarbeit richtet sich somit an Vertreter beider Disziplinen und soll neben einem Überblick über die derzeitigen Strukturen auch als Anregung für eine weitere Beschäftigung mit dieser Thematik dienen.

Abstract

Flood events repeatedly pose a threat for the population of Austria. Especially in the last few years, flood events have increasingly challenged disaster control organisations. Civil engineers and disaster control organisations share many tasks in preventing and handling disaster situations, which necessitates close collaboration between both groups.

This master's thesis describes the different approaches to handling a flood event according to the different points of view of both disciplines, and also aims to give an overview of the complex structures in the background of each group. With the help of this information a mutual basis should be created to facilitate understanding of the discussed matter. The potential to further strengthen the cooperation between disaster control organisation and civil engineers is demonstrated via the specific example of a drainage examination.

This study is therefore intended for representatives of both disciplines. In addition to giving an overview of present structures in disaster control, it should also encourage further studies on this topic.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Katastrophenschutz in der Landeshauptstadt | 4 |
| 2.1. Geschichtliche Entwicklung | 5 |
| 2.1.1. Hochwasserkatastrophen in Graz | 7 |
| 2.2. Heutige Strukturen in der Landeshauptstadt..... | 9 |
| 2.2.1. Berufsfeuerwehr Graz..... | 9 |
| 2.2.2. Freiwillige Feuerwehr Graz | 12 |
| 2.2.3. Der Katastrophenschutzdienst (KSD) | 13 |
| 2.2.4. Die Landeswarnzentrale (LWZ)..... | 14 |
| 2.2.5. Das K-20-Konzept der Stadt Graz..... | 16 |
| 2.3. Katastrophenschutz aus rechtlicher Sicht | 17 |
| 2.3.1. Was ist eine Katastrophe? | 17 |
| 2.3.2. Eigenschaften einer Katastrophe | 20 |
| 2.3.3. Wer entscheidet, ob ein Ereignis zur Katastrophe ausgerufen wird?..... | 21 |
| 2.4. Zuständigkeit für die Grazer Gewässer..... | 21 |
| 2.5. Ablauf eines Hochwasserereignisses | 23 |
| 2.5.1. Alarmplan Hochwasser | 23 |
| 2.6. Stabsdienst..... | 24 |
| 2.6.1. Aufbau des Stabsdienstes | 25 |
| 2.7. Mittel der Grazer Einsatzkräfte im Hochwasserschutz | 27 |
| 2.7.1. LUMIS..... | 28 |
| 2.7.2. Katastrophenschutz-Server..... | 28 |
| 2.7.3. Wetterprognosemodelle am Beispiel INCA | 28 |
| 2.7.4. Objektalarmpläne Grazer Bäche | 31 |
| 2.7.5. Katastrophenleitstelle..... | 31 |
| 2.7.6. Abgesetzte Notrufannahme (ANA)..... | 32 |
| 2.7.7. Grazer-Abwehr-Karten..... | 33 |
| 2.7.8. Personalmanagement im Katastrophenfall..... | 34 |
| 2.7.9. Möglichkeiten der Einsatzkräfte vor Ort..... | 34 |
| 2.8. Hochwasserschutz in Krems an der Donau | 38 |
| 3. Die Rolle des Bauingenieurs im Hochwasserschutz | 41 |
| 3.1. Hochwasser – eine allgemeine Betrachtung..... | 42 |
| 3.1.1. Wovon hängt Hochwasser ab | 44 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.2. Eigenschaften einer Hochwasserwelle | 45 |
| 3.2. Simulieren eines Hochwasserereignisses..... | 49 |
| 3.2.1. Abflussberechnung | 49 |
| 3.2.2. Ergebnisse einer Abflussuntersuchung | 51 |
| 3.2.3. Einschränkungen in der Fließgewässermodellierung | 52 |
| 3.3. Schutzwasserbau | 54 |
| 3.3.1. Auslegung wasserbautechnischer Anlagen..... | 56 |
| 3.3.2. Sicherheitstechnische Aspekte im Bauwesen | 57 |
| 3.3.3. Schnittstellenproblematik am Beispiel des vorbeugenden Brandschutzes | 58 |
| 3.4. Integrierter Hochwasserschutz als Ziel | 59 |
| 3.4.1. Gemeinsame Dokumentation..... | 59 |
| 3.4.2. Zusätzliche Informationen aus Abflussuntersuchungen | 60 |
| 3.4.3. Gemeinsames Auftreten bei der Vorbeugung | 60 |
| 3.5. Wie viel Wasserbau braucht der Feuerwehrmann? | 61 |
| 3.5.1. Hydrodynamik..... | 61 |
| 3.5.2. Kontinuitätsbedingung | 62 |
| 3.5.3. Gauckler-Manning-Strickler..... | 63 |
| 3.5.4. Energieverluste..... | 68 |
| 3.5.5. Verklausungen..... | 70 |
| 3.5.6. Geschiebe | 72 |
| 3.5.7. Gleit- und Prallufer | 73 |
| 3.5.8. Welche Inhalte sind für den Katastrophenschutz relevant? | 74 |
| 3.5.9. Was leitet sich daraus für die Arbeit der Einsatzkräfte ab?..... | 75 |
| 3.6. Bauliche Maßnahmen..... | 76 |
| 3.6.1. Rückhaltebecken | 77 |
| 3.6.2. Linearmaßnahmen..... | 80 |
| 3.6.3. Schaffen von Retentionsraum..... | 82 |
| 3.6.4. Naturschutz bei der Hochwasserbekämpfung | 83 |
| 3.7. Schütze nur Schützenswertes! | 85 |
| 3.8. Ableitungen für die Praxis..... | 86 |
| 4. Konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der Informationsweitergabe | 86 |
| 4.1. Auswertung der Abflussuntersuchungen | 86 |
| 4.1.1. Ein fiktives Szenario zur Erläuterung | 88 |
| 4.1.2. Rückführung auf die tatsächlichen Randbedingungen | 91 |
| 4.1.3. Umsetzbarkeit eines derartigen Systems | 94 |

| | |
|----------------------------------------------|-----|
| 4.1.4. Lamellenprognose – Flood Risk II..... | 95 |
| 4.2. Darstellung der Fließzeiten..... | 97 |
| 4.2.1. Berechnungsergebnisse HEC-RAS | 98 |
| 5. Ergebnisse und Ausblick..... | 100 |
| Literaturverzeichnis | 102 |
| Tabellenverzeichnis | 114 |
| Abbildungsverzeichnis | 115 |
| Abkürzungsverzeichnis | 120 |
| Anhang A | 121 |

Anmerkung: Quellenangaben werden in der vorliegenden Arbeit als Zahlen in eckigen Klammern dargestellt, die jeweiligen Urheber finden sich im Literaturverzeichnis wieder.

1. Einleitung

Jährlich kommt es in Österreich zu Hochwasserereignissen, welche Schäden in enormer Höhe verursachen. Immer wieder ist damit – direkt oder indirekt – auch menschliches Leid verbunden. Die Hochwasserkatastrophen der letzten Jahre hinterließen in vielen Gebieten Österreichs eine Spur der Verwüstung, zerstörten Infrastruktur und private Besitztümer. Berichte in den Medien berühren und erschüttern, und doch wiegt man sich in Sicherheit, denkt nicht daran, dass Ähnliches auch schnell in der eigenen Umgebung passieren kann.

Wie schnell derartige Katastrophen auch die eigene Landeshauptstadt ereilen, zeigten vor allem die Sommermonate im Jahre 2009. Besonders entlang der Grazer Bäche kam es zu schweren Schäden, Gewässer traten über die Ufer und bahnten sich Ihren Weg quer durch bewohntes Gebiet. Die örtlichen Einsatzkräfte stehen in derartigen Situationen vor einer enormen Herausforderung. An vielen Orten wird zur selben Zeit Hilfe benötigt. Anhand der Erfahrungen vergangener Einsätze bereiten sich Hilfsorganisationen immer besser auf derartige Katastrophen vor. Trotz aller Bemühungen bieten die Einsatzunterlagen der Einsatzkräfte noch keine ausreichende Unterstützung im Anlassfall.



Abb. 1: Hochwasser in Andritz [45]

Mit viel Engagement sind die Verantwortlichen des Katastrophenschutzes deshalb versucht, die Vorbereitung auf Hochwasserereignisse im Raum Graz weiter auszubauen. So wurden im Jahr 2010 beispielsweise erste Pegelmessstellen in Betrieb genommen und in Zusammenarbeit mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) Wetterprognosemodelle für den Grazer Katastrophenschutz aufbereitet. Ebenso zählen infrastrukturelle Maßnahmen seitens der Berufsfeuerwehr zu den umfangreichen Investitionen rund um den Hochwasserschutz in Graz.

Zeitgleich forschen Mitarbeiter des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU Graz an einem EU-weiten Projekt zur Minimierung des Hochwasserrisikos in urbanen Gebieten, genannt „Sustainable Strategies of Urban Flood Risk“ (SUFRI), wobei auf das wichtige Instrument der Frühwarnung besonders eingegangen wird. Ebenso werden junge Studierende zu den Wasserbauingenieuren der Zukunft ausgebildet und lernen, hydraulische Modelle zu entwickeln und Schutzmaßnahmen umzusetzen. An anderer Stelle wiederum setzen Investoren wie die Stadt Graz, das Land Steiermark sowie der Bund gezielt bauliche Maßnahmen, um die Anrainer der Grazer Bäche zu schützen und Schäden weitestgehend zu verhindern.

Um all diese Arbeiten und Anforderungen auch in Zukunft zur Zufriedenheit der Bevölkerung, zu erfüllen, ist eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten Institutionen unerlässlich.

Im Zuge der vorliegenden Masterarbeit am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz soll in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Katastrophenschutz und Feuerwehr des Magistrat Graz versucht werden, die grundlegenden Strukturen des Katastrophenschutzes mit besonderem Bezug auf die Landeshauptstadt Graz aufzuzeigen und einen Überblick über die Möglichkeiten des Bauwesens zu geben. Ebenso sollen hydraulische Zusammenhänge dargestellt und Möglichkeiten der Einsatzkräfte näher erklärt werden, um dadurch einen Einblick in das jeweils gegengleiche Betätigungsfeld zu erhalten. In weiterer Folge sollen Schnittstellen gefunden und anhand von Beispielen Überschneidungen bzw. Möglichkeiten zur optimierten Zusammenarbeit aufgezeigt werden.

Die vorliegende Arbeit richtet sich somit nicht nur an Bauingenieure, sondern ebenso an Führungskräfte der Feuerwehren oder Entscheidungsträger im Katastrophenschutz. Insbesondere sollte diese Masterarbeit allerdings zu einer weiteren Beschäftigung mit der Thematik des Hochwasserschutzes anregen und bestenfalls auch Anregung zu weiteren wissenschaftlichen Arbeiten in diesem Betätigungsfeld sein.

Aufgrund der komplexen Strukturen des Katastrophenschutzes soll in der vorliegenden Arbeit hauptsächlich auf die Arbeit der Feuerwehren eingegangen werden. Die Berücksichtigung aller Einsatzorganisationen würde den Rahmen dieser Masterarbeit überschreiten und soll in keiner Weise die Leistungen derer Mitglieder schmälern.



Abb. 2: Hochwasser am Gabriachbach in Graz-Andritz im August 2005 [43]

2. Katastrophenschutz in der Landeshauptstadt

Mit knapp 300.000 Einwohnern (Stand: 01.01.2010) ist Graz die größte Stadt des Bundeslandes Steiermark [84]. Als Landeshauptstadt ist Graz Anlaufstelle für viele Touristen und bietet mit vielen Sehenswürdigkeiten umfangreiche Angebote für unterschiedliche Interessensgruppen. Die Universitätsstadt beheimatet nicht nur viele Studierende, sondern bietet auch Arbeitsplätze für viele Pendler der umliegenden Gemeinden. Dadurch kann die Personendichte der steirischen Hauptstadt Wochentags auch schnell auf über 400.000 Menschen steigen.

Die Mur, als größter Fluss der Steiermark, fließt mitten durch die Landeshauptstadt. Typisch für Graz sind auch die insgesamt 52 benannten Bäche, welche gemeinsam eine freie Fließstrecke von rund 125 km im Stadtgebiet aufweisen. Mit ihrem Gesamteinzugsgebiet von rund 140 km² entwässern sie nicht nur das Grazer Stadtgebiet sondern auch viele der umliegenden Gemeinden, insbesondere im Norden, in Richtung Mur (Vgl. [56]).

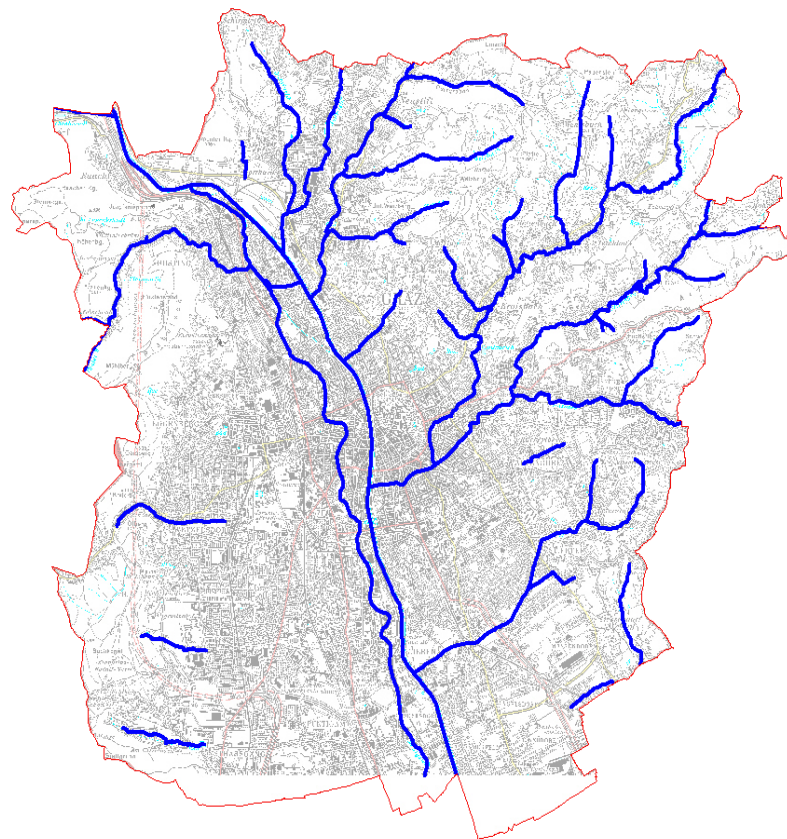


Abb. 3: Grazer Bäche, Auszug [58]

Im Zuge von Stadtentwicklungsprozessen wurden die einzelnen Bäche immer weiter zurückgedrängt, teilweise ganze Bäche verrohrt und Begradigungen durchgeführt, oft ohne Rücksicht auf die Natur. In den letzten Jahren kam es vermehrt zu Hochwasserereignissen, die die immer steigende Verwundbarkeit urbaner Gebiete aufzeigten.

Für die Sicherheit der Bevölkerung sorgt in Graz eine Vielzahl gut organisierter Rettungskräfte diverser Hilfsorganisationen. Neben einer Berufs- und einer Freiwilligen Feuerwehr betreibt das Rote Kreuz mehrere Dienststellen. Zusätzlich verfügt Graz über eine Ortsstelle der Bergrettung, Dienststellen der Wasserrettung, der Bundes- und Stadtpolizei sowie Einrichtungen des Bundesheers. Auch die Landeswarnzentrale Steiermark hat ihren Sitz in der Landeshauptstadt Graz.

2.1. Geschichtliche Entwicklung

Der Beginn der gezielten Bekämpfung von Katastrophen kann mit jenem des organisierten Feuerlöschwesens gleichgesetzt werden. Bereits aus der Zeit um 1200 v. Chr. finden sich dokumentierte Feuersbrünste auf ägyptischen Papyrusrollen [68], welche einen Beleg für die von Bränden ausgehende Bedrohung für die damalige Bevölkerung darstellen. Weiters wird angenommen, dass in Ägypten bereits zu dieser Zeit privat organisierte Sklavenfeuerwehren bestanden [ebd.]. Der babylonische König Hammurabi (1728 – 1686 v.Chr.) erließ zudem als Teil des „Codex Hammurabi“ die ältesten bekannten feuerpolizeilichen Vorschriften. [96] [68]

Zu Zeiten des römischen Reiches finden sich für die Existenz von „Brandwachen“ und „Löschknechten“ eindeutige Belege, ebenso sind eine Art erster „Feuerwehrrvereine“, die aus Freiwilligen bestanden, aus dieser Zeit bekannt [68]. In Österreich bildeten sich die ersten Feuerwehren in der Neuzeit, insbesondere in Wien kommen erste besoldete Löschknechte bereits vor 1800 vor. Zu dieser Zeit zählten Feuersbrünste nach wie vor zu den gefürchtetsten Katastrophen. Löschhilfe leisteten in erster Linie auch die einzelnen Handwerkszünfte, aus welchen im 19. Jahrhundert insbesondere im heutigen Deutschland auch erste Mitglieder für organisierte Freiwillige Feuerwehren –

damals noch unter dem Namen Pompiers-Corps – rekrutiert wurden. In Graz wird im Jahre 1853 das städtisch besoldete Pompiers-Corps gegründet, der Beginn der heutigen Berufsfeuerwehr. Zu dieser Zeit entwickeln sich in Österreich auch immer mehr freiwillige Feuerwehren. Aufgrund der mit dem Dienst in der Feuerwehr verbundenen körperlichen Anstrengungen entwickeln sich diese vorrangig aus den bereits vorhandenen Turner-Vereinen. Auch in Graz folgt bereits 1865 eine freiwillige Turnerfeuerwehr, die die besoldeten Kollegen im Anlassfall unterstützt. Zu dieser Zeit entwickelten sich auch erste zivile Rettungsdienste, welche abgeleitet vom militärischen Pendant in den Reihen der Feuerwehren bestanden. Ebenso wurde 1870 der steirische Feuerwehrverband gegründet und somit erstmals ein Schritt in Richtung einer überregionalen Organisation getätigt. Zur Zeit des zweiten Weltkriegs wurden viele Feuerwehren zerschlagen und aufgelöst, das Feuerwehrwesen grundsätzlich dem Militär unterstellt und die bisherigen organisatorischen Ansätze wieder verworfen. Erst nach dem zweiten Weltkrieg kam es zur heute in Österreich üblichen Trennung von Rettungsdienst und Feuerwehr.

Zur Zeit nach dem zweiten Weltkrieg entstand der Zivilschutz, dessen Aufgabe aus dem Schutz der Zivilbevölkerung im Kriegsfall bestand. Während des Kalten Krieges wurden umfangreiche Mittel zur Verfügung gestellt um den Zivilschutz zeitgemäß aufzustellen. Der Österreichische Zivilschutzverband beschäftigt sich heute allerdings nicht nur mit dem Bevölkerungsschutz im Kriegsfall sondern dient vielmehr als allgemeine Informations- und Beratungsstelle für die Zivilbevölkerung in Notlagen aller Art. So werden in der Steiermark beispielsweise Kurse zur ersten Löschhilfe angeboten oder verschiedene Informationsveranstaltungen durchgeführt. Die Internetseite „Sicherheitsinformationszentrum“ [69] wird ebenso vom Zivilschutzverband betrieben und steht den Bürgern mit Ratschlägen aller Art zur Seite. So kann der Zivilschutz heute als Teil des „umfassenden Katastrophenschutzes“ angesehen werden. [61]

Ein konkreter organisierter Katastrophenhilfsdienst ist bei den Freiwilligen Feuerwehren seit etwa 1960 etabliert [68]. In ganz Österreich wurden Bereitschaften des Feuerlösch- und Bergedienstes (FuB) aufgestellt, welche

heute unter dem Namen Katastrophenhilfsdienst (KHD) geführt werden. Diese Einheiten bewährten sich bereits bei vielen Katastrophen, unter anderem bei Flut- und Erdbebenkatastrophen sowie Waldbränden sowohl im In- als auch im Ausland.

2.1.1. Hochwasserkatastrophen in Graz

Die Stadt Graz war in der Vergangenheit immer wieder von schlimmen Hochwasserkatastrophen betroffen. So zerstörte 1827 beispielsweise ein Mur-Hochwasser (Vgl. Abb. 4) die damals noch aus Holz gefertigte Brücke zwischen dem heutigen Südtirolerplatz und der Altstadt [14].

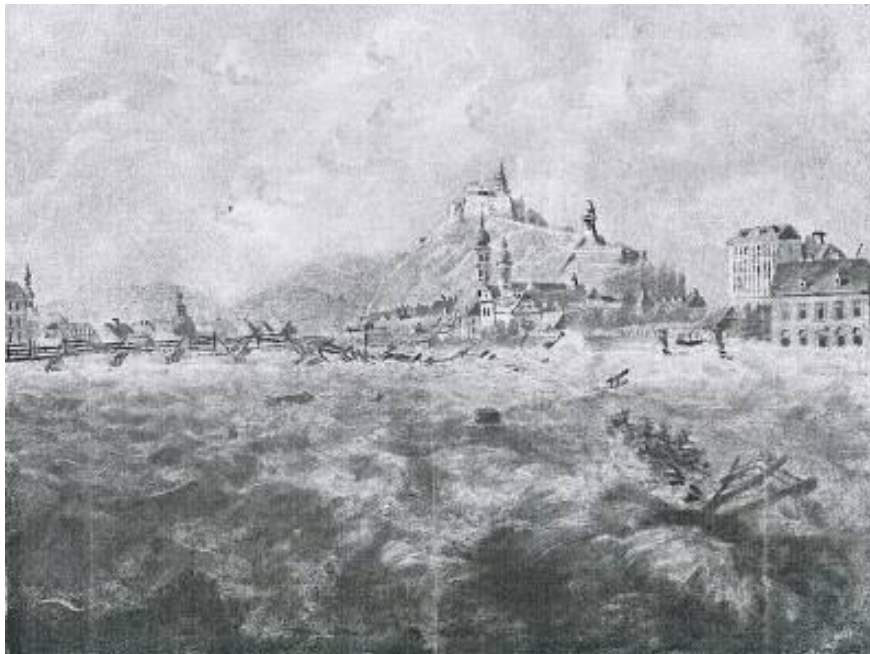


Abb. 4: Darstellung des Murhochwassers im Juni 1827 mit Blick auf den Grazer Schlossberg [52]

An ihrer Stelle befindet sich heute die Erzherzog-Johann-Brücke (ehem. Hauptbrücke). Aufgrund der Begradigung der Mur und der dadurch bedingten zunehmenden Eintiefung geht heute allerdings keine bedeutende Hochwassergefahr mehr von der Mur aus [97]. Schwere Hochwässer sind auch vom Leonhardbach aus dem Jahr 1913 (Vgl. Abb. 5) sowie dem Stiftingbach aus dem Jahr 1916 überliefert.



Abb. 5: Schwere Schäden nach einem Hochwasser am Leonhardbach im Jahr 1913 [52]

Nach einer erneuten schweren Hochwasserkatastrophe im Jahr 1975 (Vgl. Abb. 6) entstanden erste Überlegungen zu Hochwasserschutzkonzepten [53]. 1996 und 1998 führten Sommergewitter zu lokalen Überflutungen. Besonders betroffen waren hier der Schöckelbach sowie der Mariatrosterbach.



Abb. 6: Hochwasser am Mariatrosterbach (links) sowie am Schöckelbach (rechts) im Jahr 1975 [52]

Die jüngsten schweren Überflutungen der Jahre 2005 und 2009 betrafen insbesondere die Stadtbezirke Andritz und St. Peter. Alleine das Hochwasser im Jahr 2005 verursachte dabei Schäden von rund 5 Mio. Euro.

Vgl. [52], [53], [58]

2.2. Heutige Strukturen in der Landeshauptstadt

Vorab sollen die Strukturen des Katastrophenschutzes in Graz mit speziellem Bezug auf Hochwasserereignisse näher erläutert werden. Neben Einrichtungen des Magistrat Graz bestehen in der Landeshauptstadt auch Katastrophenschutzeinrichtungen des Landes Steiermark. So kann zwischen der Abteilung 20 – Katastrophenschutz und Landesverteidigung des Landes Steiermark sowie der Magistratsabteilung für Katastrophenschutz und Feuerwehr der Stadt Graz unterschieden werden (Vgl. Abb. 7).

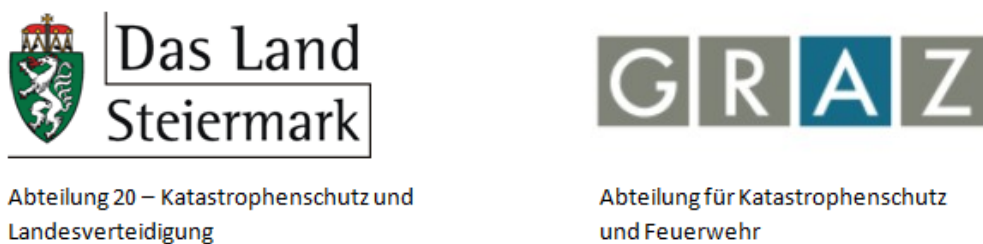


Abb. 7: Katastrophenschutzabteilungen des Landes Steiermark sowie der Stadt Graz [27]

2.2.1. Berufsfeuerwehr Graz

Die Berufsfeuerwehr Graz ist Teil der **Magistratsabteilung „Katastrophenschutz und Feuerwehr“** der Stadt Graz. Die Aufgaben der Magistratsabteilung umfassen neben dem abwehrenden Brandschutz, welcher von der Berufsfeuerwehr wahrgenommen wird, auch den vorbeugenden Brandschutz sowie den Katastrophen- und Zivilschutz. [86] [73]

Die Berufsfeuerwehr Graz ist nach jener in Wien die zweitälteste Berufsfeuerwehr Österreichs. Bereits seit 1853 verfügt die Stadt Graz über ein organisiertes Löschwesen.

Erst 2009 fand eine Umstrukturierung in den Reihen der Berufsfeuerwehr Graz statt. Die Feuerwehr betreibt seit diesem Jahr ein „Drei-Wachen-Konzept“, mit Stützpunkten am Lendplatz (Zentralfeuerwache „ZW“), dem Dietrichsteinplatz (Hauptwache Ost „HO“) und im Süden von Graz (Wache Süd „WS“), wie in Abb. 8 dargestellt. Im 24-Stunden-Wechseldienst versehen täglich 62 Mann ihren

Dienst. Neben dem Stadtgebiet von Graz fällt auch das Gemeindegebiet von Thal bei Graz in den Aufgabenbereich der Berufsfeuerwehr. So wird insgesamt einen Schutzbereich von rund 146 km² betreut [73].

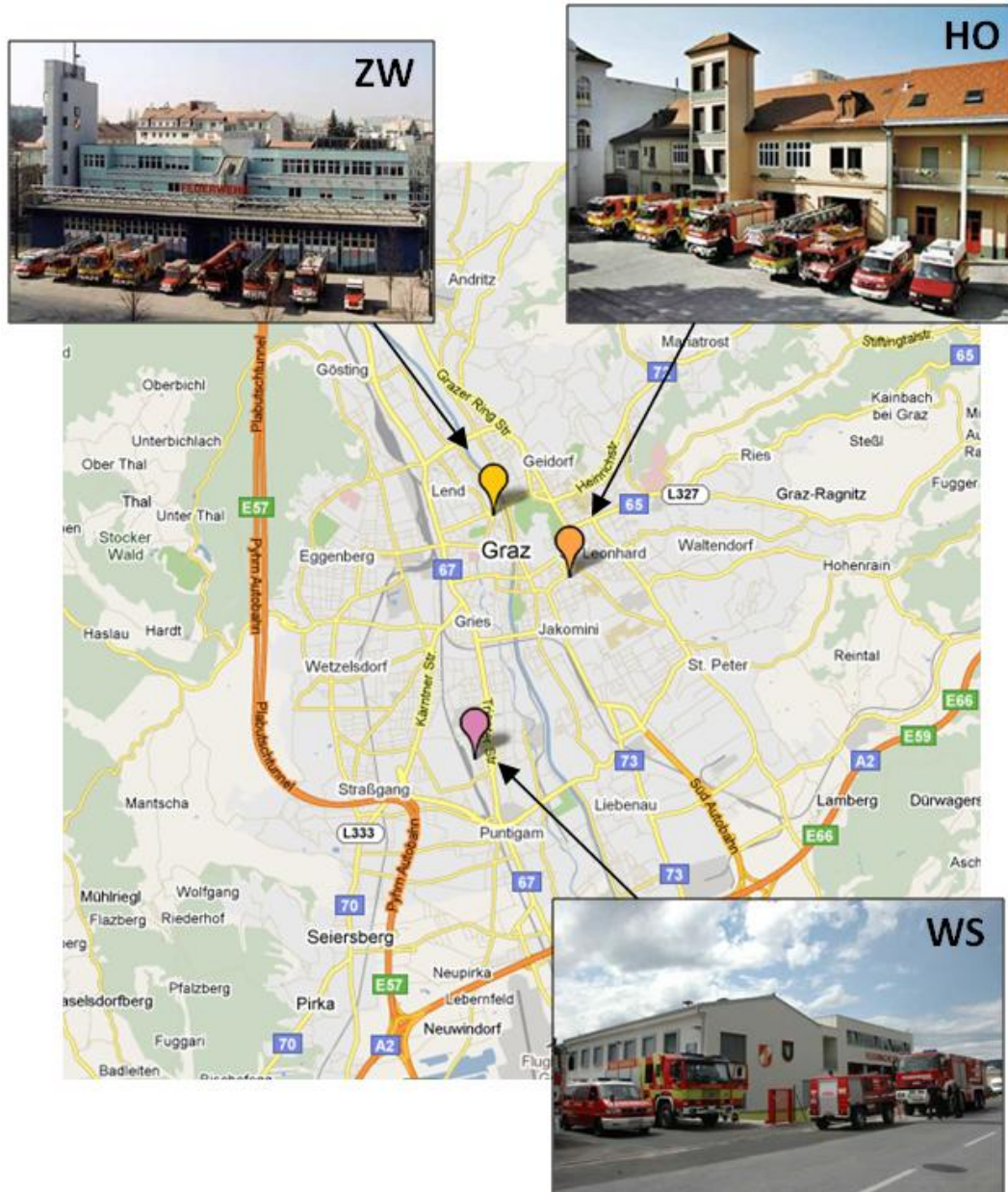


Abb. 8: Drei-Wachen-Konzept der Berufsfeuerwehr Graz [86] [Google Maps]

Die beiden Dienstgruppen der Berufsfeuerwehr tauschen täglich um 07:30 Uhr ihren Dienst. So stehen dem Personal nach einer 24-Stunden-Schicht weitere 24 Stunden zur Regeneration zur Verfügung. Neben dem klassischen Einsatzdienst, welcher selbstverständlich vor allen anderen Tätigkeiten vorrangig abzuhandeln ist, besteht der Berufsalltag der Feuerwehrmänner aus

Übungs-, Arbeits- und Bereitschaftsdienst. So betreibt die Berufsfeuerwehr Graz in ihren Gebäuden eine eigene Schlosserei, Tischlerei, und verschiedene andere Werkstätten. So können anfallende Reparaturen von den eigenen Mitarbeitern rasch und unkompliziert durchgeführt werden.

Das Einsatzspektrum der Feuerwehr hat sich in den letzten Jahren immer weiter spezialisiert, weshalb bei der Berufsfeuerwehr Graz heute auch mehrere Spezialeinheiten für besondere Herausforderungen zur Verfügung stehen. Die Höhenrettung ist dabei die wohl jüngste Spezialtruppe, die mit einem eigenen Fahrzeug und umfangreicher Ausrüstung ausgestattet bei der Menschenrettung und technischen Hilfeleistung in Höhen und Tiefen zum Einsatz kommt. So konnte zum Beispiel, wie in Abb. 9 dargestellt, ein Arbeiter, welcher auf einer Baustelle im September 2010 schwer stürzte, durch die Höhenrettung versorgt werden. Auch die Arbeit mit Hubschraubern gehört zum Anforderungsprofil der Höhenrettung. Zu den Sonderdiensten des Wasserdienstes wiederum gehören Taucher und Bootsführer. Alle Mitglieder dieser Sonderdienste verfügen über eine Zusatzausbildung für ihr jeweiliges Fachgebiet, welche regelmäßig durch verschiedene Übungen aufgefrischt werden muss.



Abb. 9: Einsatz der Höhenrettung der BF Graz nach einem Bauunfall [6]

Weiterbildungen erfordern auch viele andere Themengebiete, wie Atem- und Körperschutz, Messtechnik, Pölzmaßnahmen, Technische Menschenrettung, Kraftfahreraus- oder Tunneleinsätze.

Alleine im Jahr 2009 rückte die Berufsfeuerwehr der Stadt Graz zu knapp 7500 Einsätzen aus, wobei 584 Personen gerettet und Schäden im Umfang von rund 30 Millionen Euro verhindert werden konnten. [86]

2.2.2. Freiwillige Feuerwehr Graz

Mit der Gründung einer **Freiwilligen Feuerwehr** für die Landeshauptstadt **im Jahr 2008** konnten überdies die Personalressourcen im Dienstbetrieb und vor allem im Katastrophenfall aufgestockt werden. So zählte die Freiwillige Feuerwehr Graz zu ihrer zweiten jährlichen Wehrversammlung im März 2010 bereits 185 Mitglieder.

Neben dem gemeinsamen Stützpunkt von Berufsfeuerwehr und Freiwilliger Feuerwehr in der Wache Süd („WS“) verfügt die FF Graz wie in Abb. 10 dargestellt auch über die ehemalige Wache der Berufsfeuerwehr in Kroisbach („WK“).

Die Freiwillige Feuerwehr wird alarmiert, wenn dies die aktuelle Einsatzlage erfordert. Sie steht somit vor allem für den Katastrophenfall oder bei Auftreten mehrerer Paralleleinsätze unterstützend zur Verfügung. Die Mitglieder der Freiwilligen Feuerwehr können über Personenrufempfänger erreicht werden und finden sich im Alarmfall auf der Wache ein.

Wenngleich die Freiwillige Feuerwehr Graz zu ihren Anfängen immer gemeinsam mit der Berufsfeuerwehr ausrückte, werden von den Kameraden mittlerweile eigenständig Alarme abgewickelt. Ebenso wie bei allen anderen Feuerwehren ist dafür auch hier eine ständige Aus- und Weiterbildung erforderlich. [32]

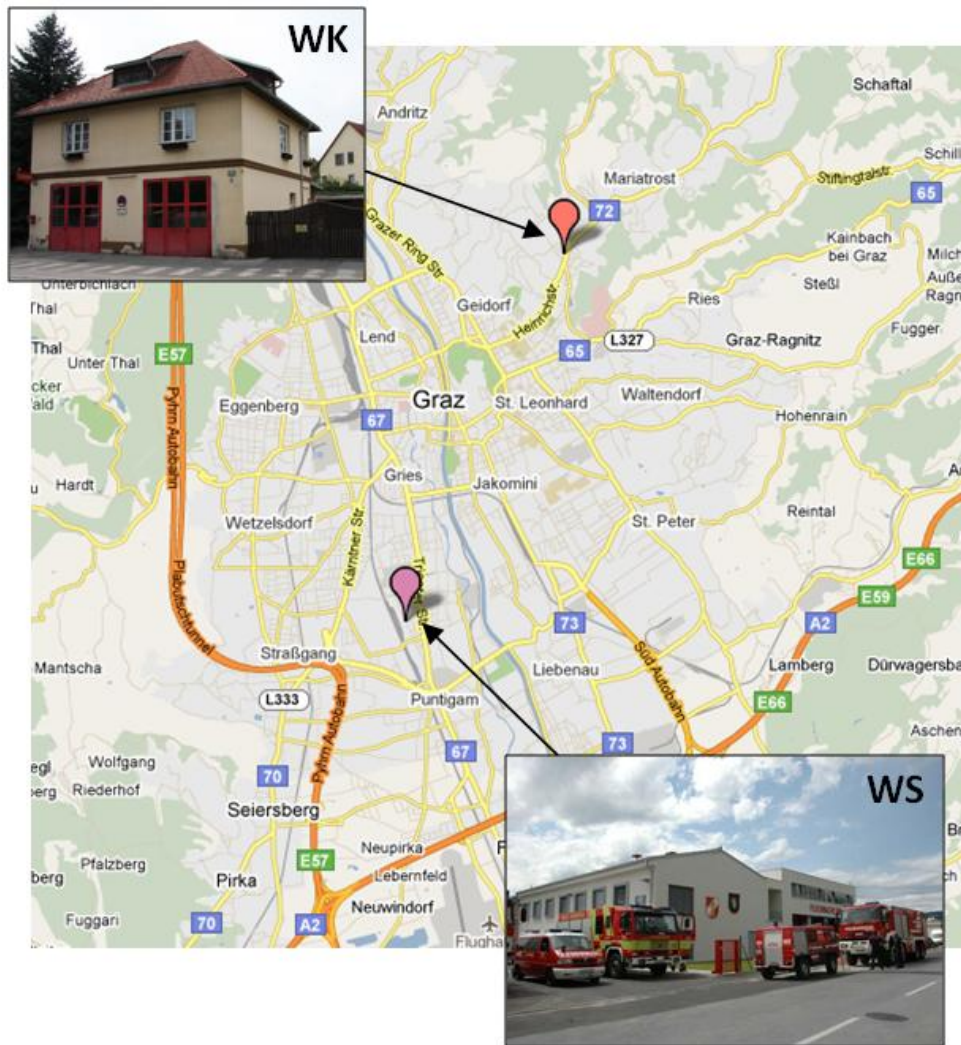


Abb. 10: Wachen der Freiwilligen Feuerwehr Graz [32] [86] [Google Maps]

2.2.3. Der Katastrophenschutzdienst (KSD)

Zur Unterstützung der Einsatzorganisationen im Katastrophenfall steht in der Landeshauptstadt Graz ein **Katastrophenschutzdienst** zur Verfügung. Dieser vorrangig aus Mitgliedern des Magistrats gebildete Personenkreis wurde ins Leben gerufen, um die Berufsfeuerwehr im Katastrophenfall sowie in anderen Ausnahmesituationen zu unterstützen. Zur Ausbildung eines KSD-Mitarbeiters zählen unter anderem eine Einweisung in das Feuerwehr- und Zivilschutzwesen sowie ein Erste-Hilfe-Kurs. Insbesondere ist es Aufgabe der Mitglieder, freiwillige Helfer aus der Zivilbevölkerung im Katastrophenfall zu führen. [86]

2.2.4. Die Landeswarnzentrale (LWZ)

Die Landeswarnzentrale Steiermark mit Sitz in der Landeshauptstadt Graz ist eine rund um die Uhr besetzte **Informations- und Kommunikationszentrale** der „Katastrophenschutzabteilung A20“ des Landes Steiermark. Neben der Notrufannahme, sowohl für die Landeswarnzentrale selbst als auch für die Österreichische Bergrettung, laufen an dieser zentralen Stelle eine Vielzahl an Warnungen und Informationen, beispielsweise der Wetterdienste, zusammen. Aus allen gesammelten Informationen erstellt die LWZ eigene Warnungen, die im Bedarfsfall an Behörden und Einsatzorganisationen weitergeleitet werden. Die umfangreiche Vernetzung der Landeswarnzentrale spiegelt Abb. 11 (S. 15) wieder. Auch wenn sich die Darstellung auf das Jahr 1999 bezieht und deshalb einzelne Organisationsbezeichnungen nicht mehr aktuell sind, ist der Umfang der weitreichenden Kommunikationsstrukturen deutlich zu erkennen.

Die Kernaufgaben der Landeswarnzentrale definieren sich wie folgt:

- Permanente Ansprech- und Koordinierungsstelle für jede Art von Katastrophen und Schadensereignissen
- Entgegennahmen, Zuordnung und Weiterleitung von Alarmen und Informationen
- Warnung und Alarmierung
- Einsatzleitung, Einsatzlenkung, Dokumentation
- Beobachtung und Sicherstellung von Warnsystemen
- Erhaltung des Warn- und Alarmdienstes
- Kommunikationssicherstellung
- Tagesgeschehen / Routinebetrieb, vorbereitende Maßnahmen

Sie dient somit vor allem als Anlaufstelle für Einsatzkräfte, Behörden und Zivilpersonen in außergewöhnlichen Situationen. So fallen beispielsweise die Alarmierung des Chemiealarmdienstes, die Anforderung von Hubschrauberunterstützung oder die Alarmierung der Österreichischen Bergrettung in den Kompetenzbereich der LWZ. [1]

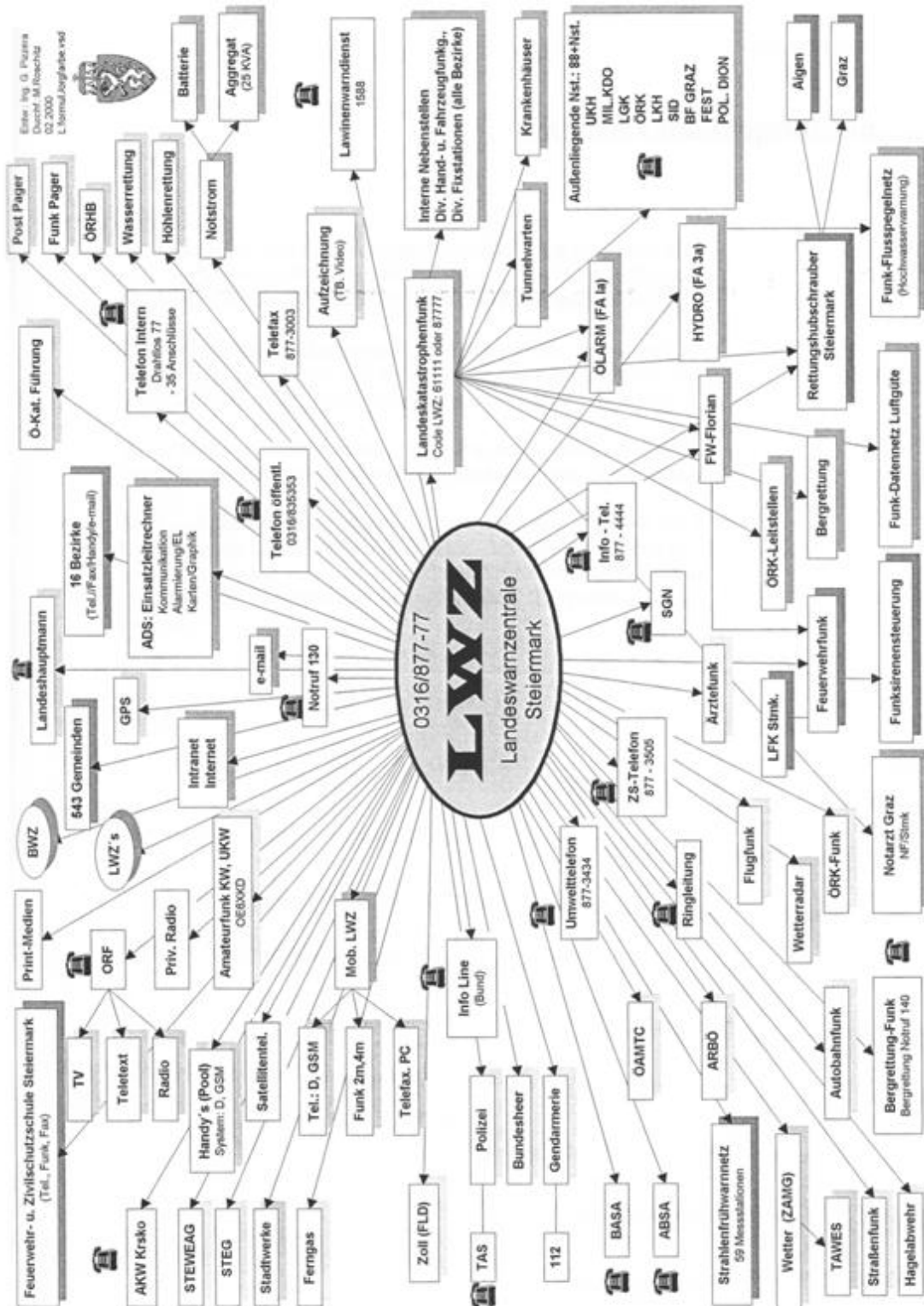


Abb. 11: Kommunikationsstrukturen der LWZ Steiermark, Stand 1999 [29]

2.2.5. Das K-20-Konzept der Stadt Graz

Die Abteilung für „Katastrophenschutz und Feuerwehr“ des Magistrat Graz ist insbesondere für Planungen und Vorbereitungen im Sinne des vorbeugenden Katastrophenschutzes verantwortlich. Als Grundlage dafür ist die Erörterung möglicher Bedrohungen unerlässlich. Das K-20-Konzept der Stadt Graz stellt anhand 20 ausgearbeiteter Bedrohungsszenarien die Grundlage für Planungen im Katastrophenschutz dar. Neben Naturkatastrophen, Bränden und Unfällen stehen auch Gefahren wie jene eines länger andauernden Stromausfalls im Blickpunkt der Verantwortlichen. Tabelle 1 fasst die berücksichtigten Katastrophenszenarien zusammen.

Vergleicht man diese zwanzig Szenarien mit den Tätigkeitsgebieten des Bauwesens ist deutlich eine Überschneidung mit den Aufgaben des Katastrophenschutzes zu erkennen. Brände spielen im Hochbau eine wichtige Rolle bei der Planung und Projektabwicklung, Tunnelbrände stellen hohe Anforderungen an die verwendeten Baumaterialien und sind eine Herausforderung für den vorbeugenden Brandschutz.

Tabelle 1: Das K-20-Konzept der Stadt Graz (nach: [67])

| Das K-20-Konzept der Stadt Graz | |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Sturm | Chemie-, Gefahrgutunfall |
| Großbrand | Betriebe und Anlagen mit besonderem Gefahrenpotential |
| Tunnelbrand | Gebäudeeinsturz |
| Elementarereignisse | Waldbrand |
| Hochwasser | Katastrophen in Folge Terror |
| Hagel | Flugnotfall |
| Schnee | Epidemiologischer Notfall |
| Stromausfall | Radioaktive Verstrahlung |
| Gravitative Massenbewegungen | Erdbeben |
| Großunfall | Katastrophe als Folge von Krieg |

Die Auswirkungen von Erdbeben und übermäßigem Schneefall fließen in statische Berechnungsansätze ein, Hochwasserschutz gehört zu den Aufgaben des Wasserbauingenieurs und Massenbewegungen wie Erdbeben und Böschungsinstabilitäten beschäftigen den Geotechniker.

Tabelle 2: Überschneidungen zwischen Katastrophenschutz und Bauwesen am Beispiel „K-20“

| Das K-20-Konzept der Stadt Graz | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Sturm | Chemie-, Gefahrgutunfall |
| Großbrand | Betriebe und Anlagen mit besonderem Gefahrenpotential |
| Tunnelbrand | Gebäudeeinsturz |
| Elementarereignisse | Waldbrand |
| Hochwasser | Katastrophen in Folge Terror |
| Hagel | Flugnotfall |
| Schnee | Epidemiologischer Notfall |
| Stromausfall | Radioaktive Verstrahlung |
| Gravitative Massenbewegungen | Erdbeben |
| Großunfall | Katastrophe als Folge von Krieg |

In Tabelle 2 sind jene Szenarien rot gekennzeichnet, bei welchen es zu Überschneidungen der zuvor angeführten Tätigkeitsbereiche kommen kann. Die hier getroffene Auswahl kann dabei je nach Auslegung der einzelnen Szenarien variieren.

2.3. Katastrophenschutz aus rechtlicher Sicht

In der Bundesrepublik Österreich ist die Regelung des Katastrophenschutzes grundsätzlich Sache der Länder. Für die Steiermark sind seit 1999 Belange betreffend der Bekämpfung und Abwehr von Katastrophen im Steiermärkischen Katastrophenschutzgesetz geregelt. Dieses Gesetz reglementiert unter anderem die Behördenzuständigkeit im Katastrophenfall. Um die rechtlichen Aspekte im Katastropheneinsatz näher betrachten zu können, ist jedoch vorweg eine Begriffsdefinition erforderlich.

2.3.1. Was ist eine Katastrophe?

Für das Wort „Katastrophe“ findet sich eine Reihe von Begriffsdefinitionen, wobei nachfolgend genannte Definition aus dem Steiermärkischen Katastrophenschutzgesetz § 1 Abs. 2 die Grundlage für die vorliegende Arbeit darstellen soll.

„Eine Katastrophe (...) ist ein Ereignis, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen oder bedeutende Sachwerte in ungewöhnlichem

Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden und die Abwehr oder Bekämpfung der Gefahr einen koordinierten Einsatz der zur Katastrophenhilfe verpflichteten Einrichtungen, insbesondere der Organisationen des Katastrophenschutzes, erfordert.“

Weiters hält die „Richtlinie für das Führen im Katastropheneinsatz“ des **Staatlichen Krisen- und Katastrophenmanagements (SKKM)** des **Bundesministeriums für Inneres (BMI)** ergänzend zu den gesetzlichen Bestimmungen weitere wesentliche Kriterien einer Katastrophe fest.

Ein Ereignis gilt unter folgenden Voraussetzungen als Katastrophe [20]:

- Ein unvorhergesehenes Ereignis, das unmittelbar bevorsteht oder bereits eingetreten ist.
- Eine konkrete Gefahr für Menschen, Tiere, Umwelt, Kulturgüter und Sachwerte sowie für die Infrastruktur zur Sicherstellung der Versorgung mit lebensnotwendigen Gütern und Dienstleistungen.
- Ein außergewöhnliches Schadensausmaß, sei es drohend oder bereits eingetreten.
- Die Notwendigkeit der koordinierten Führung durch die Behörde.

Eine Katastrophe weist folgende zusätzliche Merkmale auf [20]

- Eine ausgeprägte Tendenz, chaotische Verhältnisse herbeizuführen.
- Die Überforderung der zur Verfügung stehenden örtlichen Kräfte und Mittel.

Mit den oben angegebenen Kriterien kann eine ausreichende Abgrenzung einer Katastrophe in Bezug zu anderen außergewöhnlichen Ereignissen erfolgen. Betrachtet man beispielsweise wieder die Schneekatastrophe von Mariazell im Jahr 2006, werden beinahe alle vom BMI genannten Punkte erfüllt.



Abb. 12: Bundesheereinsatz im Zuge des Katastrophenwinters in Mariazell 2006 [7]

Nachdem innerhalb von mehreren Monaten rund 9,6 Meter Schnee fielen, musste befürchtet werden, dass mehrere Gebäude der außergewöhnlich hohen Schneelast nicht standhalten würden [8]. Es handelte sich dabei also um ein unvorhergesehenes Ereignis welches eine außergewöhnliche Bedrohung für die betroffenen Gemeinden darstellte.



Abb. 13: Katastropheneinsatz in Mariazell 2006 [33]

Durch befürchtete weitere Schneefälle war eine konkrete Gefahr gegeben, deren Beseitigung einen hohen Personalaufwand erforderte. Dieser wiederum machte die Führung durch die Behörde erforderlich.

2.3.2. Eigenschaften einer Katastrophe

Was bedeutet „Katastrophe“ für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr? Der wichtigste Unterschied zur üblichen Bewältigung der Aufgaben der Einsatzorganisationen liegt in jedem Fall in der Zuständigkeit der Gefahrenabwehr.

Grundsätzlich ist die Besorgung der örtlichen Feuer- und Katastrophenpolizei laut § 26 Abs. 1 Steiermärkischem Landesfeuerwehrgesetz (i.d.F. vom 25. April 2006) Aufgabe der Gemeinden. Selbiges gilt für die Aufgaben des allgemeinen Rettungsdienstes laut § 2 Abs. 2 Steiermärkischem Rettungsdienstgesetz (i.d.F. vom 1. Juli 2009).

Wie vorab erwähnt, ist die Zuständigkeit der Behörden im Katastrophenfall allerdings - abweichend zu den eben angesprochenen Vorgaben - im Steiermärkischen Katastrophenschutzgesetz i.d.F. vom 1. April 2006 genau geregelt, wobei folgende Grundsätze zur Anwendung kommen:

§ 2

Behördenzuständigkeiten

(1) Der Katastrophenschutz obliegt - soweit im folgenden nichts anderes bestimmt wird – den Bezirksverwaltungsbehörden.

(2) Beschränken sich die drohenden oder bereits eingetretenen Auswirkungen einer Katastrophe auf ein Gemeindegebiet und kann die Katastrophe von der Gemeinde mit eigenen Mitteln wirksam bekämpft werden, obliegt der Katastrophenschutz dem Bürgermeister.

(3) Erfassen die drohenden oder bereits eingetretenen Auswirkungen einer Katastrophe mehrere politische Bezirke oder kann der Katastrophenschutz von der Bezirksverwaltungsbehörde nicht mehr wirksam wahrgenommen werden, obliegt der Katastrophenschutz der Landesregierung.

Somit wird deutlich, dass das Ausrufen einer Katastrophe mit einigen wesentlichen Veränderungen in den Bereichen Führung und Verantwortung verbunden ist. Ein sehr wichtiger Aspekt ist auch, dass die Kosten einer ausgerufenen Katastrophe gemäß § 14 desselben in den Wirkungsbereich des Landes übergehen.

2.3.3. Wer entscheidet, ob ein Ereignis zur Katastrophe ausgerufen wird?

Weder Einsatzorganisationen noch Gemeinden selbst sind befugt, im Ereignisfall eine Katastrophe auszurufen. Nach § 4 des Steiermärkischen Katastrophenschutzgesetzes i.d.F. vom 1. April 2006 obliegt diese Aufgabe der zuständigen Behörde. Im Allgemeinen bedeutet dies, dass lediglich die jeweilige Bezirkshauptmannschaft ein Ereignis als Katastrophe deklarieren kann, womit diese in der Regel auch die Gesamtleitung zur Abwehr und Bekämpfung der Katastrophe übernimmt. Einzige Ausnahme bilden hierbei Statutarstädte, wie beispielsweise die Landeshauptstadt Graz, in welchen diese Aufgabe der Bürgermeister wahrnimmt.

Sofern also eine Katastrophe im Sinne des § 4 Steiermärkisches Katastrophenschutzgesetz durch die zuständige Behörde festgestellt wurde, erweitert sich die vorab beschriebene technische Einsatzleitung um einen weiteren behördlichen Bestandteil. Dieser Teil besteht aus einem eigenen Krisenstab seitens der Behörde, deren Leiter ab diesem Zeitpunkt die Gesamtverantwortung für den Katastropheneinsatz trägt. Zur Einsatzabwicklung bedient sich diese behördliche Einsatzleitung der technischen Einsatzleitung. GRAEGER et al. (2009) sprechen hierbei von einer „operativ-taktischen“ und einer „administrativ-organisatorischen Komponente“.

[49]

2.4. Zuständigkeit für die Grazer Gewässer

Der Großteil der Grazer Bäche befindet sich auf öffentlichen Grundstücken, dem sogenannten öffentlichen Wassergut. Die Verwaltung dieser Flächen und somit auch der Bäche obliegt grundsätzlich der Bundeswasserbauverwaltung. Diese wird vertreten durch den Landeshauptmann der Steiermark bzw. dem

Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Die Aufgabe des Schutzwasserbaus wird von der Fachabteilung 19B – Schutzwasserwirtschaft und Bodenwasserhaushalt wahrgenommen. Dazu zählen unter anderem die Planung, Umsetzung und Förderung von Hochwasserschutzprojekten sowie die Beratung von Gemeinden und Wasserverbänden. [70]

Ein Teil der Grazer Bäche gilt als Wildbäche und fällt somit in die Zuständigkeit der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), einer Dienststelle des Lebensministeriums (BMLFUW). Die Definition eines Wildbaches findet sich im Österreichischen Forstgesetz i.d.F. vom 01.01.1976, §99 Abs. 1, wieder:

„Ein Wildbach im Sinne dieses Bundesgesetzes ist ein dauernd oder zeitweise fließendes Gewässer, das durch rasch eintretende und nur kurze Zeit dauernde Anschwellungen Feststoffe aus seinem Einzugsgebiet oder aus seinem Bachbett in gefahrdrohendem Ausmaße entnimmt, diese mit sich führt und innerhalb oder außerhalb seines Bettes ablagert oder einem anderen Gewässer zuführt.“



Abb. 14: Geschleibebecken der WLV in Funktion [4]

Neben dem Ausbau von Bächen gehören auch Schutzmaßnahmen gegen Lawinen und Muren zu den Kernaufgaben der Wildbach- und Lawinenverbauung. Darunter fallen beispielsweise Geschleibebecken (Vgl. Abb.

14, S. 22), Steinschlagnetze oder Murbrecher. Alleine die WLV Steiermark betreut dabei rund 3100 Wildbäche im öffentlichen Interesse. Neben Planung und Ausführung von Schutzbaumaßnahmen gehören auch Sachverständigen- und Beratungstätigkeiten zum Leistungsspektrum der WLV. [4]

2.5. Ablauf eines Hochwasserereignisses

In den meisten Fällen beginnt ein Hochwasserereignis mit einer Wetterwarnung. Werden von Meteorologen der ZAMG umfangreiche oder außergewöhnliche Regenereignisse prognostiziert, ergeht zugleich eine entsprechende Meldung an einen umfangreichen Verteiler, darunter auch die Landeswarnzentrale sowie die Berufsfeuerwehr Graz. Mit dem Eingang dieser Meldung beginnen bereits die ersten Vorbereitungen auf ein bevorstehendes Ereignis.

2.5.1. Alarmplan Hochwasser

Die Berufsfeuerwehr Graz hat sich mit ihrem eigenen „Alarmplan Hochwasser“ ein Hilfsmittel erarbeitet, welches alle organisatorischen Abläufe im Falle eines drohenden Hochwasserereignisses genau definiert. So sieht dieser Alarmplan auch zwei Vorwarnstufen vor. Mit Einlangen einer Unwetterwarnung wird bereits die Vorwarnstufe I ausgelöst. Ab diesem Zeitpunkt wird die Wetterlage beobachtet und Kontakt mit anderen Einsatzorganisationen aufgenommen. Hier wird erfahrungsgemäß von einer Vorlaufzeit von rund sechs bis zwölf Stunden ausgegangen. Kommt es nun tatsächlich zu Unwettern in den Einzugsgebieten der Grazer Bäche oder lässt die Wetterlage starke Regenereignisse erwarten, wird auf Vorwarnstufe II erhöht. Ab diesem Zeitpunkt werden bereits ein provisorischer Einsatzstab gebildet und erste Maßnahmen getroffen. Ebenso findet bereits eine erste Kontaktaufnahme mit Abteilungen des Magistrates Graz statt. Auch die Freiwillige Feuerwehr Graz wird aktiviert. In weiterer Folge können die Alarmstufen je nach Entwicklung des Ereignisses auf „Alarmbereitschaft“ bzw. „KAT-Alarm“ weiter erhöht werden. Im schlimmsten Fall kommt es zur Ausrufung einer Katastrophe durch den Bürgermeister. [5]

2.6. Stabsdienst

Zur Bewältigung einer Hochwasserkatastrophe bedarf es einer Vielzahl an Beteiligten. Gerade im Bereich der Feuerwehren werden bei größeren Einsätzen schnell Mannschaftsstärken von weit mehr als 100 Personen erreicht, im Katastrophenfall kann sich diese Zahl durchaus verzehnfachen. Ein Beispiel dafür ist der großangelegte Katastropheneinsatz im Zuge des Rekordwinters 2006 im Wallfahrtsort Mariazell: Alleine am 13. Februar standen knapp 1.800 Helfer, hauptsächlich von Feuerwehr, Bundesheer und Rotem Kreuz, im Einsatz [8]. Spätestens bei einem Einsatz dieser Größe ist auch dem Laien klar, dass die Koordination aller eingesetzten Kräfte eine besondere Herausforderung darstellt.

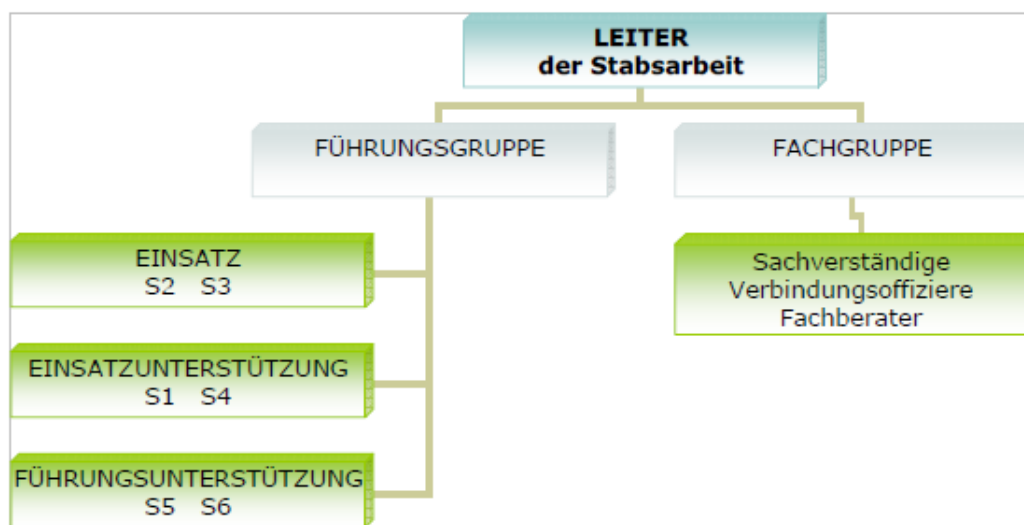
Wie die „Chefetage“ in jedem betriebswirtschaftlich orientiertem Unternehmen steht auch die Führung im (Katastrophen-) Einsatz in direkter Proportion zu den insgesamt eingesetzten Kräften. Die Führungsebene wächst mit der Anzahl der eingesetzten Kräfte bzw. dem Umfang des zu bewältigenden Schadensereignisses. Was also im Kleineinsatz einer Einsatzorganisation mit einer Person in Funktion des Einsatzleiters beginnt, weitet sich im Katastropheneinsatz auf eine ganze Personengruppe aus. Der Einsatzleiter im Katastropheneinsatz bedient sich hierfür in der Regel einem Stab.

Da gerade im Zuge derartiger Katastrophen viele Organisationen zusammenwirken, ist eine einheitliche Vorgehensweise in der Führung einer derartigen Großschadenslage erforderlich. Dies erkannte auch das Bundesministerium für Inneres (BMI), weshalb im Jahr 2004 das „Staatliche Krisen- und Katastrophenschutzmanagement“ (SKKM) gegründet wurde [20]. Mit der Richtlinie für das Führen im Katastropheneinsatz stellt das SKKM seit 2006 einen Leitfaden zur Verfügung, welcher „eine einvernehmlich (sic.) Grundlage für Führungsabläufe, Führungsorganisation und Führungsmittel für alle maßgeblichen Behörden und Einsatzorganisationen“ darstellt. Neben Begriffsbestimmungen und allgemeinen Regeln der Führung vereinheitlicht diese Richtlinie vor allem die Stabsarbeit.

Um eine bundesweite Umsetzung dieser Richtlinie zu gewährleisten haben sich die im SKKM-Koordinationsausschuss vertretenen Behörden sowie Einsatz-, Hilfs- und Rettungsorganisationen bereit erklärt, die Richtlinie des BMI für die Ausbildung Ihrer Führungskräfte heranzuziehen [20].

2.6.1. Aufbau des Stabsdienstes

Der Aufbau des Stabsdienstes findet sich in dieser Form auch in den Unterlagen diverser Führungslehrgänge für Feuerwehr, Rotes Kreuz oder anderer Einsatzorganisationen wieder. [29] [30]



Stabsstelle 1 – Personal: S1

Erfassen und Organisieren der Einsatzkräfte
Organisieren des Personals für die Stabsarbeit

Stabsstelle 2 – Lage: S2

Lagefeststellung
Beurteilung der Lage
Lagedarstellung
Lageinformation

Stabsstelle 3 – Einsatz S3

Einsatzplanung und Durchführung

Dokumentation des Einsatzablaufes
Vertreten des Leiters der Stabsarbeit

Stabsstelle 4 – Versorgung S4

Versorgung
Organisieren von Fremdleistungen
Verwaltung und Verrechnung
Ganzheitliche Betreuung (Medizinische und
Psychosoziale Betreuung; Notfallseelsorge)

Stabsstelle 5 – Öffentlichkeitsarbeit S5

Medienarbeit
Betreuung der Besucher (Betreuung von
Politikern u. Behörden; Dolmetscherdienst)
Bilddokumentation
Auskunft

Stabsstelle 6 – Kommunikation S6

Ausstattung des Stabes mit
Kommunikations-
-mitteln
Kommunikationsorganisation
Einsatzdokumentation

Abb. 15: Grundsätzliche Gliederung des Stabes [62]

Als Vorgabe dient jeweils die Aufteilung der Führungsaufgaben auf insgesamt sechs Stabsfunktionen. Diesen Funktionen steht der sogenannte Leiter des Stabes vor. Er bildet die Schnittstelle zum Einsatzleiter und koordiniert die Zusammenarbeit mit weiteren Fachgruppen. Der gesamte Stab inklusive seinem Leiter erfüllt eine beratende und unterstützende Tätigkeit für den Einsatzleiter. Auch wenn die Stabsarbeit in der Richtlinie des SKKM bereits detailliert vorgegeben wird, bleibt jeder Einsatzorganisation noch eine gewisse Anpassungsfähigkeit an die jeweils eigenen technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen. Dies betrifft beispielsweise die letztliche Ausgestaltung der Führungsunterlagen und -mittel sowie diverse Formblätter oder Kommunikationsmöglichkeiten.

Daraus lässt sich ableiten, dass die Stabsarbeit zwar grundsätzlich einheitlich geregelt ist, eine vollständige Kompatibilität zwischen den einzelnen Hilfsorganisationen derzeit noch nicht gegeben ist. Somit können zwar mehrere Vertreter unterschiedlicher Einheiten in der Einsatzleitung zusammenarbeiten, die Besetzung des Stabes, insbesondere der Stabsfunktionen S1 bis S6, geschieht jedoch aller Regel nach durch nur eine Einsatzorganisation. Meist handelt es sich hierbei um Mitglieder der Feuerwehr.

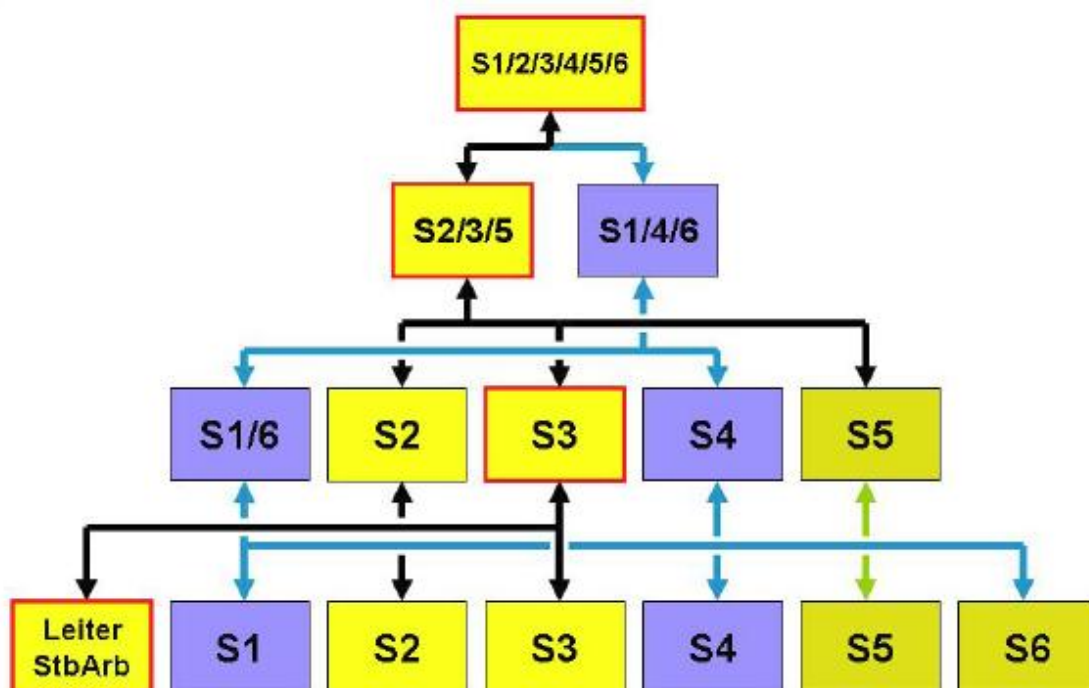


Abb. 16: Gliederung des Stabes [20]

Große Vorteile im Anlassfall einer Katastrophe ergeben sich für die Führung, wenn die Zuständigkeiten in der Einsatzleitung bereits im Vorfeld geklärt sind und der Bezirkshauptmann bzw. der jeweilige Einsatzleiter auf ein eingespieltes Team zurückgreifen kann.

Je nach Bedarf und Lage, insbesondere bei kleineren Schadenslagen, können einzelne Bereiche auch wie in Abb. 16 (S. 26) zusammengefasst werden. Trotz aller Bemühungen der Vorbeugung jedweder Art von Gefahren können Katastrophen niemals gänzlich verhindert werden. Die Stadt Graz, insbesondere die Abteilung für Katastrophenschutz und Feuerwehr, hat sich deshalb auf derartige Großschadensfälle eingerichtet.

Mit dem Aufbau und dem Betrieb einer Einsatzleitung im Anlassfall ist die Berufsfeuerwehr der Stadt Graz betraut. In den Gebäuden der Zentralfeuerwache Lendplatz steht hierfür eine eigene Katastrophenleitstelle zur Verfügung. Bei Bedarf kann so schnell eine stationäre Einsatzleitung aufgebaut werden. Die oben beschriebenen Stabsfunktionen werden hierfür mit speziell geschultem Personal der Berufsfeuerwehr Graz besetzt.

Sie bilden gemeinsam mit Führungskräften aller beteiligten Einsatzorganisationen die „technische Einsatzleitung“ [59].

2.7. Mittel der Grazer Einsatzkräfte im Hochwasserschutz

Die Hochwasserereignisse der vergangenen Jahre führten dazu, dass die Grazer Einsatzkräfte, insbesondere die Grazer Berufsfeuerwehr, heute über umfangreiche Erfahrungen auf diesem Gebiet verfügen. Abgeleitet aus Beobachtungen, Nachbesprechungen und Dokumentationen ergab sich über die letzten Jahre ein ständiger Verbesserungsprozess in den eigenen Reihen. Anhand verschiedener organisatorischer und technischer Maßnahmen konnte so die Hilfeleistung weiter optimiert werden, wobei nachfolgend einige dieser Maßnahmen näher vorgestellt werden sollen.

2.7.1. LUMIS

LUMIS steht für **L**enkungs **U**nterstützungs **M**anagement **I**nformations **S**ystem und bezeichnet ein „Disaster Management System“, kurz DMS, also eine Software zur Führungsunterstützung im Katastrophen- oder Großschadensfall. Die Berufsfeuerwehr Graz ist an der Weiterentwicklung dieses Systems gemeinsam mit der Bayrischen Herstellerfirma Euro-DMS beteiligt, wodurch die Software auch in gewissen Bereichen direkt an die Bedürfnisse der Grazer angepasst werden konnte. Grundsätzlich funktioniert die gesamte Stabsarbeit über dieses redundant geführte System computerunterstützt. Wichtig für den Hochwasserschutz ist insbesondere, dass auch die Grazer Abwehr Karten (GAK, Vgl. Kapitel 2.7.7) direkt eingebunden sind.

2.7.2. Katastrophenschutz-Server

Mit dem Katastrophenschutzserver stellt das Land Steiermark seit mehreren Jahren ein weiteres Hilfsmittel zur Verfügung. Basierend auf der Grundidee einer landesweiten Vernetzung sollen die für die Katastrophenabwehr relevanten und den Gemeinden bekannten Informationen zusammengefasst und den Entscheidungsträgern zugänglich gemacht werden. Die Pflege und regelmäßige Aktualisierung der Inhalte stellt dabei eine große Herausforderung für die Kommunen dar. Aus Gesprächen mit Endanwendern geht hervor, dass nach mittlerweile mehrjähriger Nutzung des Systems bereits sehr hilfreiche Informationen entnommen werden können. Letztlich obliegt es allerdings den Kommunen selbst, dieses Instrument für den eigenen Bedarf mit Daten zu beschicken um es im Anlassfall auch entsprechend anwenden zu können.

2.7.3. Wetterprognosemodelle am Beispiel INCA

Wetterprognosen spielen in der Hochwasserfrühwarnung eine entscheidende Rolle. Der Großteil aller Hochwasserereignisse steht in direktem Zusammenhang mit außergewöhnlichen Niederschlagsereignissen, die in der Regel vorab anhand von Wetterprognosemodellen vorhergesagt werden können.

Grundsätzlich können zwei verschiedene Arten der Wettervorhersage unterschieden werden:

Zum einen liefert die „**numerische Wettervorhersage**“ eine großräumige Verteilung der physikalischen Zustandsgrößen der Atmosphäre, wie beispielsweise Luftdruck, Wind, Temperatur oder Feuchte. Sie gibt damit nicht das Wetter sondern den „atmosphärischen Grundzustand“ an. Die Änderung der Zustandsgrößen kann physikalisch formuliert und berechnet werden. Anhand von Messungen stehen weltweit Eingangsdaten für diese Berechnungen zur Verfügung. Aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung der Messgeräte handelt es sich dabei allerdings immer nur um gemittelte Momentanwerte. Die Eingangswerte für die genaue physikalische Berechnung sind damit nicht detailliert genug um das bei der Modellierung entstehende Gleichungssystem zu lösen, was letztlich dazu führt, dass zusätzliche Annahmen getroffen werden müssen um ein Ergebnis zu erhalten. Dies führt in weiterer Folge zu Ungenauigkeiten. [65]

Die zweite Art der Vorhersage ist die „**lokale und regionale Wettervorhersage**“. Sie wird von erfahrenen Meteorologen durchgeführt und basiert einerseits auf den Ergebnissen der numerischen Wettervorhersage und andererseits auf lokalen Gegebenheiten. Zu diesen Einflüssen zählen beispielsweise Berge, Täler, Seen oder die aktuelle Jahreszeit. Auch größere Städte können dabei einen Einfluss auf das regionale Wetter haben. Gepaart mit langjährigen Aufzeichnungen und aktuellen Wetterbeobachtungen erstellt der Meteorologe daraus eine Prognose. [65]

Eine solche lokale Wettervorhersage liefert das System INCA der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. INCA steht für „**I**ntegrated **N**owcasting through **C**omprehensive **A**nalysis“. Als Grundlage dafür dient das numerische Modell ALADIN der ZAMG. Anhand komplexer algorithmischer Zusammenhänge werden die zur Verfügung stehenden Eingangsdaten von Wetter- oder Radarstationen mit der numerischen Vorhersage kombiniert, wobei besonders auf eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung geachtet wird. So stehen Vorhersagen für einen 1x1 Kilometer Raster zur Verfügung (ALADIN verfügt vergleichsweise über einen 9,6-Kilometer-Raster).

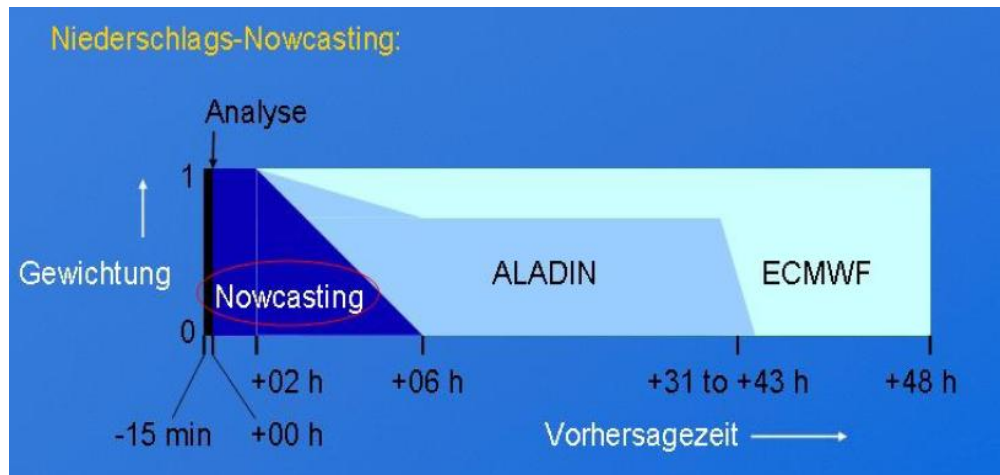


Abb. 17: Gewichtung verschiedener Prognosemodelle [100]

Die zeitliche Auflösung verschiedener Vorhersagefelder ist aus Tabelle 3 ersichtlich. So ergibt sich beispielsweise für Niederschlagsvorhersagen eine Update-Frequenz von 15 Minuten.

Wie aus Abb. 17 ersichtlich ist, liefert das Nowcasting von INCA besonders in den nächsten zwei bis sechs Stunden nach Prognosezeitpunkt gute Ergebnisse, erst für längere Vorhersagezeiträume liefern die Modelle ALADIN und ECMWF genauere Vorhersagen als INCA. [99]

Tabelle 3: Nowcastingsystem INCA [99]

| Feld | Einheit | Update-Frequenz (min) | Zeitl. Auflösung (min) | Prognosezeitraum (h) | Verfügbarkeit (min) |
|---------------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| 2m-Temperatur | °C | 60 | 60 | 48 | 20-25 |
| 2m-Feuchte (Td, rF) | °C, % | 60 | 60 | 48 | 20-25 |
| 10m-Wind (u,v) | m/s | 60 | 60 | 48 | 25-30 |
| Gesamtbewölkung | % | 15 | 15 | 48 | 15-20 |
| Niederschlagsmenge | mm | 15 | 15 | 48 | 20-25 |
| Niederschlagsart | - | 15 | 15 | 12 | 20-25 |
| Schneefallgrenze | m | 60 | 60 | 48 | 20-25 |
| Bodentemperatur | °C | 60 | 60 | 12 | 20-25 |
| Globalstrahlung | W/m ² | 60 | 60 | 48 | 30-35 |
| Wind Chill | °C | 60 | 60 | 48 | 30-35 |

Gerade für die Hochwasserfrühwarnung ist dieses System sehr interessant. Die Berufsfeuerwehr Graz verfügt über einen eigenen Zugang zum System INCA

mit einer speziellen, auf die Grazer Anforderungen abgestimmten, Nutzeroberfläche und berichtet von bislang sehr guten Erfahrungen.

2.7.4. Objektalarmpläne Grazer Bäche

Die Objekteinsatzpläne Grazer Bäche wurden seitens des Katastrophenschutzes erarbeitet und stehen den Einsatzkräften und Entscheidungsträgern im Anlassfall als Hilfsmittel zur Verfügung. Inhalt dieser Pläne in Berichtsform ist vor allem eine Dokumentation vorangegangener Hochwasserereignisse. Viele Abbildungen zeigen Überflutungsflächen und Überbordungen. In den Objekteinsatzplänen finden sich aus hydraulischer oder wasserbautechnischer Sicht allerdings nur folgende Inhalte wieder: Das mittlere Sohlgefälle, die Gerinnelänge sowie die Abflussmengen des jeweiligen HQ100 bzw. HQ30. Einige Möglichkeiten, diese Angaben zu erweitern sollen in den Kapiteln 4 und 5 dieser Arbeit näher erläutert werden.

2.7.5. Katastrophenleitstelle

Gerade im Falle eines Großschadensereignisses bzw. einer Katastrophe wie beispielsweise Hochwasser oder Starkregen bietet sich eine zentrale (ortsfeste) Einsatzleitung aus verschiedenen Gründen an: Neben der aufwändigen Führungsstruktur im Stab ist eine große Anzahl technischer Hilfsmittel für die Abwicklung der Führungsaufgaben erforderlich. Aus diesem Grund ist es ratsam, im Vorfeld Vorbereitungen für eine derartige Situation zu treffen. Die Berufsfeuerwehr Graz verfügt deshalb über eine eigene Katastrophenleitstelle. Neben umfangreichen Planunterlagen, Einsatz- und Alarmplänen steht auch technisches Equipment in ausreichender Menge zur Verfügung. So gehören beispielsweise mehrere Video-Beamer, ein mit ausreichenden Zugängen versehenes Computernetzwerk sowie mehrere Monitore zur Ausrüstung des Stabes.

Im Katastrophenfall wird die Leitstelle mit dem vorgesehenen Stabspersonal auf Anordnung des Einsatzdirektors besetzt. Der Einsatzstab der technischen Einsatzleitung rekrutiert sich aus den Mitarbeitern der Berufsfeuerwehr, wobei die einzelnen Stabsfunktionen (S1-S6) von vorab definierten Personen

eingenommen werden. Alle in Frage kommenden Stabsmitarbeiter müssen natürlich regelmäßig geschult und im Umgang mit den Hilfsmitteln unterwiesen werden.

2.7.6. Abgesetzte Notrufannahme (ANA)

Im Zuge der Hochwassereinsätze der letzten Jahre und den damit verbundenen Nachbetrachtungen stellte die Berufsfeuerwehr Graz Verbesserungsbedarf im Bereich der Notrufannahme fest. Unzählige überflutete Keller, blockierte Verkehrswege oder Überschwemmungen wurden gemeldet. Die bis vor einigen Jahren vorhandenen vier getrennten Notrufleitungen erreichten im Katastrophen- und Hochwasserfall dadurch schnell die Grenzen der Auslastung. Daraus resultierte, dass auch besonders zeitdringliche Einsätze – wie beispielsweise Menschenrettungen – nicht ohne Verzögerung gemeldet werden konnten. Viele Anrufer wichen aus diesem Grund auf andere Notrufe wie den des Roten Kreuzes aus. Daraus ergaben sich zusätzliche Koordinationsschwierigkeiten.

Mittlerweile setzte die Berufsfeuerwehr Graz gezielte Maßnahmen und kann heute mit der abgesetzten Notrufannahme (ANA) für die Bevölkerung ein deutlich besseres Service bieten. Die tatsächlichen Notrufleitungen wurden verdoppelt, somit stehen nun acht separate Telefonleitungen zur Verfügung. Durch technische Neuerungen können zusätzlich insgesamt 256 Anrufer zeitgleich auf ein Infoband der Telekom verbunden werden, welches den Notrufwähler über den aktuellen Ausnahmezustand informiert. Für besonders dringende Fälle – wenn beispielsweise Menschen in Gefahr sind oder Brände gemeldet werden – besteht die Möglichkeit, mittels einer Durchwahl vom Band direkt zu einem der Notrufannahmepplätze weitergeleitet zu werden. Diese Möglichkeit wird natürlich ebenfalls von der Stimme am Band mitgeteilt.

Die zusätzlichen (bis zu vier) Disponenten in der Brandmeldezentrale der Berufsfeuerwehr werden aus dem Tagespersonal rekrutiert, wobei hierfür selbstverständlich nur speziell geschulte Feuerwehrmänner ausgewählt werden können. Von ihnen werden dann sämtliche Notrufe angenommen, wodurch die

eigentlichen Disponenten der Brandmeldezentrale entlastet werden und sich auf ihre wesentliche Aufgabe, das Disponieren, konzentrieren können. [58]

2.7.7. Grazer-Abwehr-Karten

Gemeinsam mit dem Stadtvermessungsamt der Stadt Graz wurden seitens der Abteilung für „Katastrophenschutz und Feuerwehr“ die Grazer-Abwehr-Karten entworfen. Auf Grundlage des magistratseigenen geographischen Informationssystems (GIS) wurden hier auf verschiedenen Layern sämtliche Punkte von besonderer Relevanz im Katastrophenfall eingepflegt.

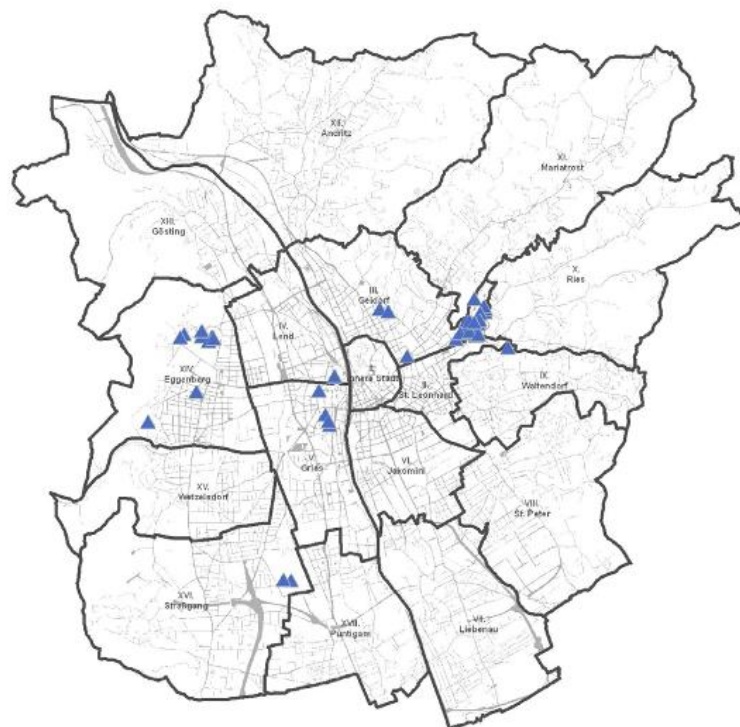


Abb. 18: Auszug aus den Grazer-Abwehr-Karten am Beispiel "Krankenhäuser" [73]

So finden sich darin beispielsweise Schulen, größere Betriebe oder Einsatzorganisationen wieder und sind auf einen Blick schnell abrufbar. Insgesamt steht mit den Grazer-Abwehr-Karten ein umfangreiches Werkzeug zur Verfügung, welches in den nächsten Jahren vermutlich noch weiter ausgebaut werden wird.

2.7.8. Personalmanagement im Katastrophenfall

Weniger oder mehr? Diese auf den ersten Blick verwunderlich wirkende Frage hat jedoch durchaus ihre Berechtigung. Natürlich kommt es im Katastrophenfall nicht wirklich zu einer Verringerung des eingesetzten Personals. Allerdings müssen in der Erstphase kurzfristige Umschichtungen erfolgen, welche sich auf das tatsächliche Einsatzpersonal auswirken.

Die Erfahrungen mit Großschadenslagen haben gezeigt, wie wichtig eine verlässliche Führungsorganisation in derartigen Fällen ist. Die vorab behandelten Bereiche der ANA sowie der Besetzung der Katastrophenleitstelle machen deutlich, dass in der Erstphase eines anlaufenden Katastropheneinsatzes eine hohe Anzahl an Personal im Bereich der Führung benötigt und gebunden wird. Diese Kräfte müssen aus dem Einsatzdienst vorerst herausgelöst werden. Gleichzeitig – oder bei Vorhandensein einer ausreichenden Vorwarnzeit natürlich einige Zeit davor – wird dienstfreies Personal der Berufsfeuerwehr einberufen, welches in weiterer Folge sämtliche verfügbaren Einsatzfahrzeuge besetzt.

2.7.9. Möglichkeiten der Einsatzkräfte vor Ort

Führten nun beispielsweise Starkregenereignisse zu Überflutungen in Siedlungsgebieten beginnt in der Regel die mühevoll Aufgabe für die Feuerwehren, unzählige Keller leer zu pumpen. Dabei sollte natürlich nach den Vorstellungen der Besitzer jeder Keller der Erste sein. Letztlich führt dieser Umstand zu einer ungeheuren Personal- und Materialschlacht, durch welche versucht wird, den außergewöhnlichen Umständen Herr zu werden.

Aus diesem Grund, und natürlich auch um Schäden bereits im Vorfeld zu minimieren, ist es der Wunsch der Berufsfeuerwehr, bereits früher in dieses Geschehen eingreifen zu können. Dafür wird allerdings ein gewisser Informationsvorsprung benötigt, wofür insbesondere die intensive Zusammenarbeit aller Beteiligten erforderlich ist.



Abb. 19: Sandsackdamm in Graz-Andritz im Zuge des Hochwassers am 18. Juli 2009 [28]

Ebenso zu den Möglichkeiten vor Ort zählt das Errichten von Barrieren aus Sandsäcken. In Graz war eine solche Maßnahme im Zuge des Juli-Hochwassers im Jahr 2009 erforderlich. Wie in Abb. 19 ersichtlich, konnte durch einen massiven Sandsackdamm ein Ausufer des Baches eingedämmt werden. Das THW in Deutschland veröffentlichte diesbezüglich Aufwandswerte, die einen guten Überblick über die Errichtungsdauer einer solchen Absperrung bieten.

Tabelle 4: Aufwandswerte zur Dammherstellung [19]

| <i>erforderliche. Dammhöhe in m</i> | <i>0,50 m</i> | <i>1,00 m</i> | <i>1,50 m</i> | <i>2,00 m</i> | <i>2,50 m</i> |
|--------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Basisanzahl | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 |
| Anzahl Säcke je lfd. m | 70 | 140 | 280 | 560 | 700 |
| (Anzahl Paletten) | (1) | (2) | (4) | (8) | (10) |
| Zeitbedarf je lfd. Meter bei 10 Helfern | 0,10 Std. | 0,20 Std. | 0,50 Std. | 0,75 Std. | 1,00 Std. |

Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, dass von einer Gruppe von zehn Helfern unter der Vorgabe eines Dammes mit einer Höhe von 50 cm nur rund zehn Meter Damm je Stunde errichtet werden können. Nicht miteinkalkuliert ist dabei allerdings die logistische Arbeit, um die insgesamt 700 Stück benötigten Sandsäcke an den Ort der Verwendung zu bringen.



Abb. 20: Errichtung eines Sandsackdammes zur Löschwasserrückhaltung [90]

Abb. 20 zeigt die Errichtung eines Sandsackdammes mit einer Höhe von rund 1,50 m in der Ortschaft Riestedt, westlich von Halle. Der hier errichtete Damm diente allerdings nicht der Bekämpfung eines Hochwasserereignisses, sondern dem Rückhalt des Löschwassers bei einem Deponiebrand. [90]

Um den logistischen Aufwand und damit auch den Zeitbedarf im Anlassfall zu reduzieren, wurden seitens der Berufsfeuerwehr Graz Sandsackdepots an gefährdeten Stellen errichtet. Allerdings ist trotzdem erkennbar, dass das vollständige Errichten eines Sandsackdammes mit einem enormen Aufwand verbunden ist. Der dafür notwendige Zeitvorsprung wird nur in wenigen Fällen erreicht werden können.

Zu guter Letzt bleibt noch die Möglichkeit des Objektschutzes. Mithilfe von Sandsäcken und im Notfall anderem geeigneten Material kann es sinnvoll sein, einzelne Einfahrten, Garagentore, Kellerfenster oder Eingänge zu sichern.

Diese Maßnahme kann auch gut von den jeweiligen Eigentümern übernommen werden, weshalb seitens der Abteilung für Katastrophenschutz und Feuerwehr des Magistrat Graz bereits mehrmals Sandsäcke an die Bevölkerung verteilt wurden. Dadurch soll auch besonders auf die Eigenverantwortung der Eigentümer aufmerksam gemacht werden.



Abb. 21: Sandsackdepots entlang des Schöckelbaches [44]

Seit einigen Jahren gehören auch mobile Hochwasserschutz Elemente zu den Möglichkeiten der Einsatzkräfte. Obgleich sich völlig mobile und frei platzierbare Elemente kaum etabliert haben, finden montierbare bzw. teilmobile Systeme immer größeren Anklang.

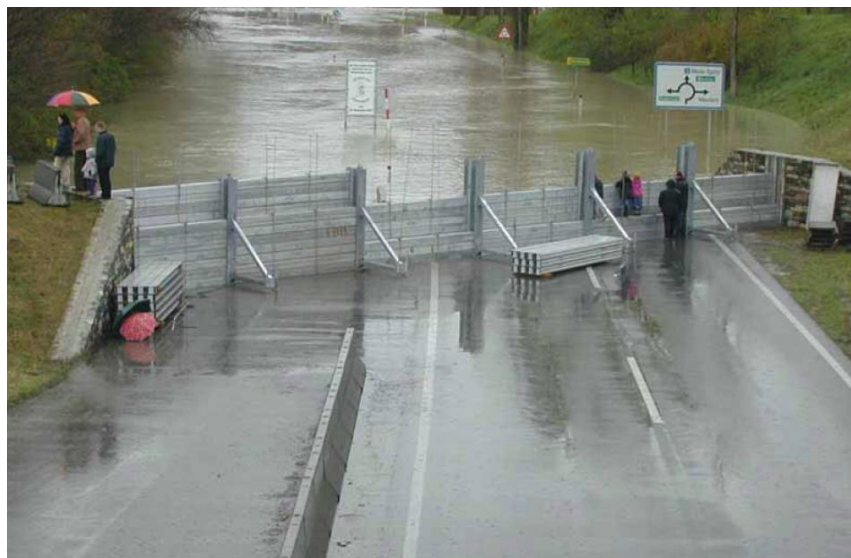


Abb. 22: Mobiler Hochwasserschutz in Krems a.d. Donau [87]

Für größere Flüsse, wie beispielsweise entlang der Donau, sind derartige Systeme bereits über weite Bereiche in Verwendung und konnten ihre positive

Wirkung mehrfach unter Beweis stellen. Oft stellen diese Systeme eine Ergänzung zu baulichen Maßnahmen dar. Weitläufige Dämme oder hohe Mauern sind aufgrund mangelnder Platzverhältnisse oder ästhetischen Gründen nicht überall einsetzbar. Durch das Vorhalten mobiler Elemente können sensible Bereiche im Anlassfall geschützt werden, ohne ein dauerhaftes Bauwerk vorsehen zu müssen.

Dadurch ist es möglich, beispielsweise Straßen oder Wege ein Sperrbauwerk durchkreuzen zu lassen. Abb. 22 zeigt einen derartigen Lückenschluss durch Mobilelemente. Im vorliegenden Fall ist der in den Anschlussbereichen sichtbare Damm durch eine Bundesstraße unterbrochen. Anhand in die Straße sowie die angrenzenden Mauern eingelassener Anschlüsse können die Mobilelemente dicht an die dauerhaften Bauwerke gekoppelt werden.

Ebenso kommen mobile Systeme als Erhöhung dauerhafter Bauwerke zum Einsatz. Gerade Ufermauern von Flüssen können aus optischen oder nutzungsbedingten Gründen meist nicht beliebig hoch ausgeführt werden. Durch das Vorsehen von Verankerungen und eine entsprechende statische Auslegung können diese Ufermauern bei Bedarf durch mobile Elemente „aufgestockt“ werden.

2.8. Hochwasserschutz in Krems an der Donau

Besonders fortschrittlich zeigt sich die niederösterreichische Stadt Krems an der Donau, wenn es um den örtlichen Hochwasserschutz geht. Entlang der Donau wurden bereits vor mehreren Jahren Hochwasserschutzmaßnahmen realisiert, die zum Teil fest und zum Teil mobil ausgeführt wurden. Ebenfalls sehr umfangreich zeigen sich die Hochwasserschutzvorkehrungen entlang des Kremsflusses. Seitens des Magistrat werden hier zwei Pegel betrieben, die der Feuerwehr zur Verfügung stehen. Beide Pegel verfügen über zwei unabhängige Messsysteme, einer Druckaufnehmersonde sowie einer Ultraschallmessung.

Über Postleitungen werden die Messwerte der beiden Pegel in die Bezirksalarmzentrale der Feuerwehr Krems übertragen. Dort sind die eingehenden Daten mit einem Kurzmitteilungs-Frühwarnsystem gekoppelt,

welches von der FF Krems entwickelt wurde. Privatpersonen können sich gegen einen geringen Unkostenbeitrag zu diesem Internetdienst anmelden und erhalten im Falle einer Überschreitung gewisser Grenzpegel eine automatisierte Kurzmitteilung. [38]



Abb. 23: Drucksonde und Ultraschallsensor zur Pegelmessung [81]

Im Gegensatz zu den Grazer Bächen entstehen am Kremsfluss aufgrund dessen Ausdehnung deutlich längere Vorwarnzeiten, welche ausreichen, um vorbereitende Maßnahmen seitens der Feuerwehr zu setzen. Größere Schäden verhinderte dieses System beispielsweise am 15. Juli 2010, wo es im Einzugsgebiet des Kremsflusses zu massiven Niederschlägen und einem raschen Pegelanstieg kam [39].

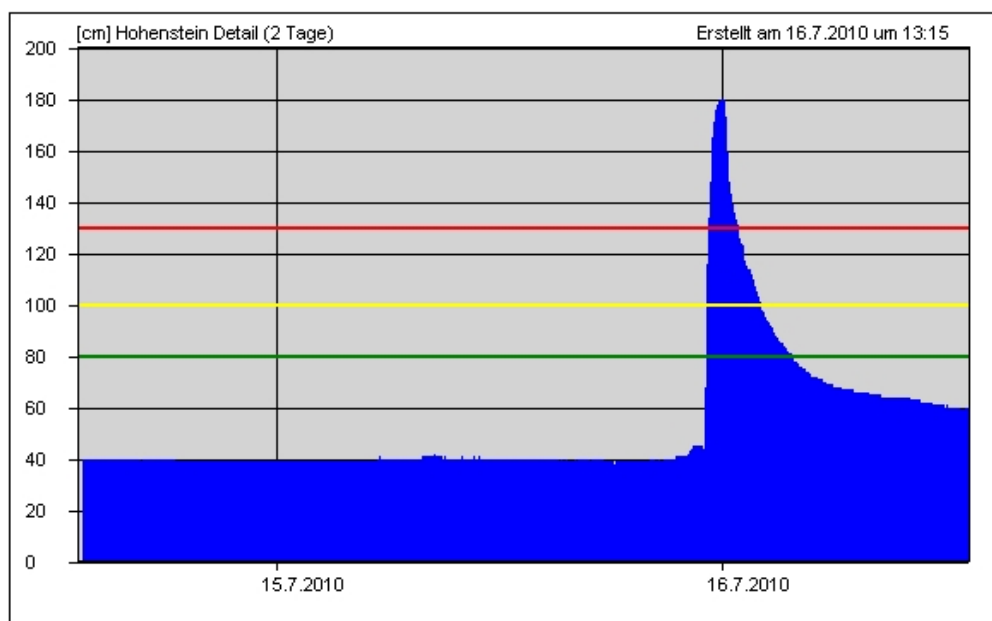


Abb. 24: Aufzeichnungen des Pegels Hohenstein am 15.07.2010 [39]
Warnmarken: Grün – Vorwarnstufe; Gelb – Hochwasserwarnstufe; Rot – Hochwasseralarmstufe

Laut Mitgliedern der Feuerwehr Krems konnten seit Inbetriebnahme der Pegelmessstellen sehr gute Erfahrungen gemacht werden. Vor allem Informationen zum aktuellen Verlauf eines Hochwasserereignisses sowie die aktuellen Entwicklungen erwiesen sich schon mehrmals als äußerst nützlich. Auf dem Internetauftritt der Freiwilligen Feuerwehr Krems finden sich viele weiterführende Informationen rund um den Hochwasserschutz an Kremsfluss und Donau. [Vgl. <http://www.feuerwehr-krems.at>] [80]

Die mobilen Hochwasserschutz Elemente für die Bereiche entlang der Donau werden in einem Katastrophenschutzlager aufbewahrt. Sie werden bei Bedarf durch die örtliche Feuerwehr aufgebaut. Derartige Systeme werden auf ein bestimmtes Bemessungshochwasser ausgelegt (Vgl. Kapitel 3.3.1). Kommt es zu einem Hochwasserereignis, welches die Bemessungsgrundlage aus irgendwelchen Gründen übersteigt, kann es zu einer **Überströmung der Schutzbauten** kommen.



Abb. 25: Mobilelemente auf dafür vorgesehener Ufermauer ergänzt um zusätzliche Sandsäcke [87]

Beinahe geschah dies im Zuge eines Donauhochwassers im Jahr 2002. Die mobilen Hochwasserschutz Elemente drohten bei einem weiteren Pegelanstieg überströmt zu werden. Wie in Abb. 25 zu erkennen ist, wurden um dies zu verhindern zusätzliche Sandsäcke auf die vorhandenen Wände aufgelegt. Ein Überfluten der angrenzenden Stadtteile konnte so erfolgreich verhindert werden.

Diese Maßnahme führte allerdings zu einer hohen Beanspruchung der Schutzwand. Bei einer anschließenden statischen Nachrechnung ergab sich eine hohe Auslastung des Systems. Die daraus resultierenden Erfahrungen führten schlussendlich zu einem Umbau und einer Erweiterung des Hochwasserschutzsystems.

3. Die Rolle des Bauingenieurs im Hochwasserschutz

Der Schutzwasserbau spielt im allgemeinen Hochwasserschutz eine bedeutende Rolle. Neben wasserbaulicher Planung fallen auch hydraulische Berechnungen, Niederschlagsprognosen oder Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in diese umfangreiche und komplexe Thematik. Die Disziplin des Schutzwasserbaus stellt den Bauingenieur vor oft schwer zu lösende Probleme. Nur wenige Fachgebiete im Bauwesen verfolgen in derselben Intensität das Ziel, Menschen und Sachwerte zu schützen. Deshalb ist der Schutzwasserbau auch mit einer nicht zu unterschätzenden emotionalen Komponente behaftet. Projekte des Hochwasserschutzes sind oft Thema von Diskussionen, bei Fragen der Dimensionierung, des vertretbaren Restrisikos oder der technischen Ausgestaltung gehen „die Wogen schnell hoch“. Dies hat neben der zu erzielenden und unbedingt umzusetzenden Schutzwirkung mehrere Gründe:

- Derartige Projekte werden zu einem großen Teil aus öffentlicher Hand finanziert.
- Bauliche Maßnahmen an Flüssen und Bächen stellen zumeist auch einen markanten nicht zu unterschätzenden Eingriff in die Natur dar.

Die genannten Umstände belegen, dass der Schutzwasserbau ein äußerst interdisziplinäres Betätigungsfeld darstellt, welches sich naturgemäß durch teils sehr unterschiedliche Zugänge aller Beteiligten definiert. Eine besonders wichtige Schnittstelle stellt dabei jene zum Katastrophenschutz dar. In vielen Fällen können hier Synergien genutzt werden, um gemeinsam effektiver auf Hochwasserereignisse vorbereitet zu sein.

3.1. Hochwasser – eine allgemeine Betrachtung

Was ist Hochwasser überhaupt? Der Begriff „Hochwasser“ bezeichnet im Allgemeinen eine überdurchschnittlich hohe Wasserdurchflussmenge in einem Gerinne. Um ein Hochwasser zu klassifizieren und es überhaupt erst als solches deklarieren zu können, bedarf es eines Systems zur „Einteilung“ von Hochwasserereignissen. Hierfür bedient man sich heutzutage der Wahrscheinlichkeitstheorie. Die geschätzte Wiederkehrdauer eines Hochwasserereignisses gibt diesem auch seinen Namen. Ein fünfjähriges Hochwasserereignis entspricht somit einem Spitzendurchfluss, wie er statistisch gesehen alle fünf Jahre für dieses Gerinne vorkommt. Besonders zu erwähnen ist hier die Gebundenheit an das Gerinne selbst.

Diese Einteilung von Hochwasserereignissen wird allerdings oft missverstanden. Diese Bezeichnung bedeutet nicht, dass dieses Ereignis tatsächlich nur alle fünf Jahre auftritt.

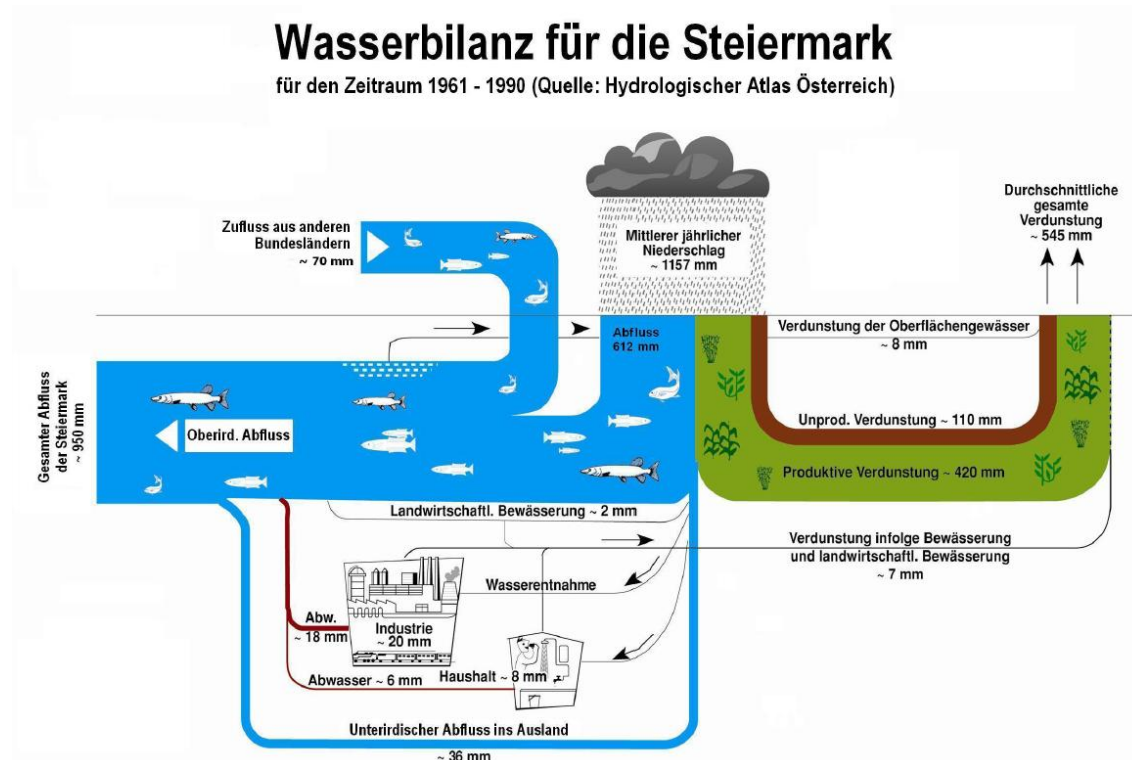


Abb. 26: Wasserbilanz für die Steiermark [2]

So können beispielsweise durchaus zwei Ereignisse gleicher Ausdehnung an zwei aufeinander folgenden Tagen auftreten. Der Schluss, nach einem

fünffährlichen Hochwasserereignis würde ohnehin fünf Jahre lang nichts mehr passieren, ist somit nicht zulässig.

Ähnlich werden auch Regenereignisse beschrieben, wobei derartige Ereignisse in [mm], also einer gedachten Niederschlagshöhe, angegeben werden. Bezogen auf einen Quadratmeter Geländeoberfläche entspricht ein Millimeter Niederschlag somit einem tausendstel Kubikmeter, also einem Liter. Ein Millimeter Niederschlag steht somit für eine Wassermenge von einem Liter pro Quadratmeter. Der Niederschlag ist Teil der gesamten Wasserbilanz einer Region. In Abb. 26 (S. 42) ist jene der Steiermark abgebildet. Erkennbar ist, dass nur rund 600 mm des durchschnittlichen jährlichen Niederschlags von rund 1160 mm direkt dem oberirdischen Abfluss zugeführt werden, der Rest verdunstet größtenteils.

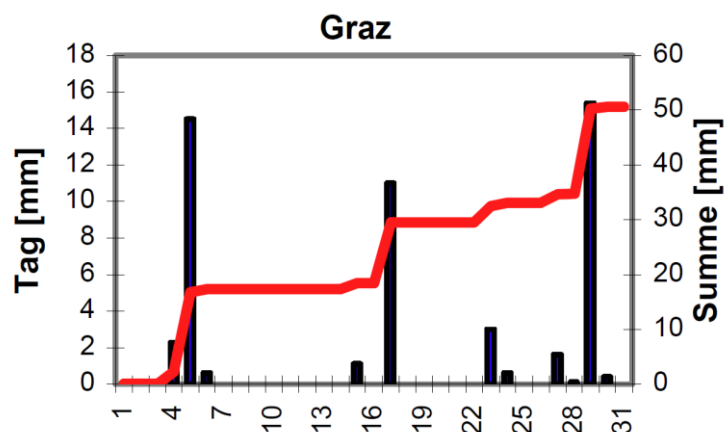


Abb. 27: Tagesniederschlagssummen der Messstation Graz vom Juli 2010 [95]

Abb. 27 zeigt die Tagesniederschlagssummen eines für Graz typisch niederschlagsarmen Sommermonats (Juli 2010). Die dunklen Balken stehen für die Tageswerte und beziehen sich auf die linke Skala, wo zu erkennen ist, dass insgesamt drei Mal ein Wert von über zehn Millimeter auftrat. Die rote Summenlinie bezieht sich auf die rechte Skala. Die Monatssumme beträgt somit rund 50 Millimeter.

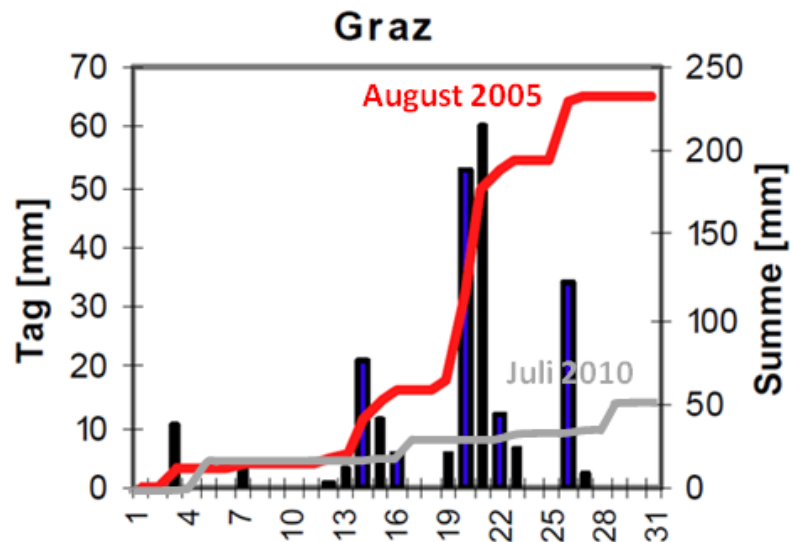


Abb. 28: Tagesniederschlagssummen der Messstation Graz vom August 2005 [94]

Ein deutlich dramatischeres Bild zeigt selbiges Diagramm für den Monat August im Jahr 2005. Wie bereits vorab erwähnt kam es am 21. August dieses Jahres (Vgl. Abb. 2, S. 3) zu massiven Überflutungen im Raum Graz, verursacht durch hohe Niederschlagsmengen die im obigen Diagramm abgelesen werden können. Bereits am 20. August wurde ein Niederschlag von über 50 mm aufgezeichnet, am 21. August erreichte der Messwert über 60 mm. Dies schlägt sich auch auf die Monatssumme, die bei rund 235 mm liegt. Die Summenlinie aus Abb. 27 ist im Diagramm in Abb. 28 grau dargestellt.

3.1.1. Wovon hängt Hochwasser ab

Ob und in welcher Intensität es zu einem Hochwasserereignis kommt hängt von vielen Faktoren ab. Auch wenn es beispielsweise durch Schneeschmelze zu einem raschen Pegelanstieg in einem Gerinne kommen kann, spielt Niederschlag in der Regel die größte Rolle. Eine wichtige Rolle kann allerdings auch eine möglicherweise vorhandene Vorsättigung des Bodens darstellen. Üblicherweise speichert der vorhandene Boden einen großen Teil des Niederschlags und gibt dieses Wasser in weiterer Folge wieder langsam ab. Ein bereits vor Beginn eines Niederschlagsereignisses völlig gesättigter Boden kann allerdings kein weiteres Wasser aufnehmen, weshalb die gesamte Niederschlagsmenge in den Vorfluter, also das Gerinne, abgeleitet wird. Diese Situation tritt bei mehrere Tage andauernden Regenereignissen auf. Viel stärker wirkt sich dieser Effekt natürlich bei versiegelten Flächen aus.

Parkplätze und große Verkehrsflächen weisen zumeist gar keine Speichermöglichkeit auf und verschlechtern somit die Abflusssituation oft drastisch.

3.1.2. Eigenschaften einer Hochwasserwelle

Je nach Entfernung der einzelnen Teilgebiete zum Vorfluter, deren spezifische Geländeeigenschaften und Gefälle treffen die gefallenen Niederschlagsmengen zeitlich versetzt am Gerinne ein. Letztlich addieren sich die Zuflüsse aus den einzelnen Teileinzugsgebieten.

Trägt man nun in einem Diagramm den Gesamtabfluss für einen bestimmten Punkt am Bachlauf über der Zeit auf, ergibt sich die sogenannte Hochwasserwelle. Spezifisch für einen bestimmten Punkt am Gerinne spiegelt sie ein bestimmtes Hochwasserereignis einer bestimmten Jährlichkeit wieder. Die nachfolgend angeführte Grafik (Abb. 29) bildet eine typische Hochwasserwelle ab. Daraus lassen sich mehrere, für den Wasserbau relevante, Inhalte ablesen.

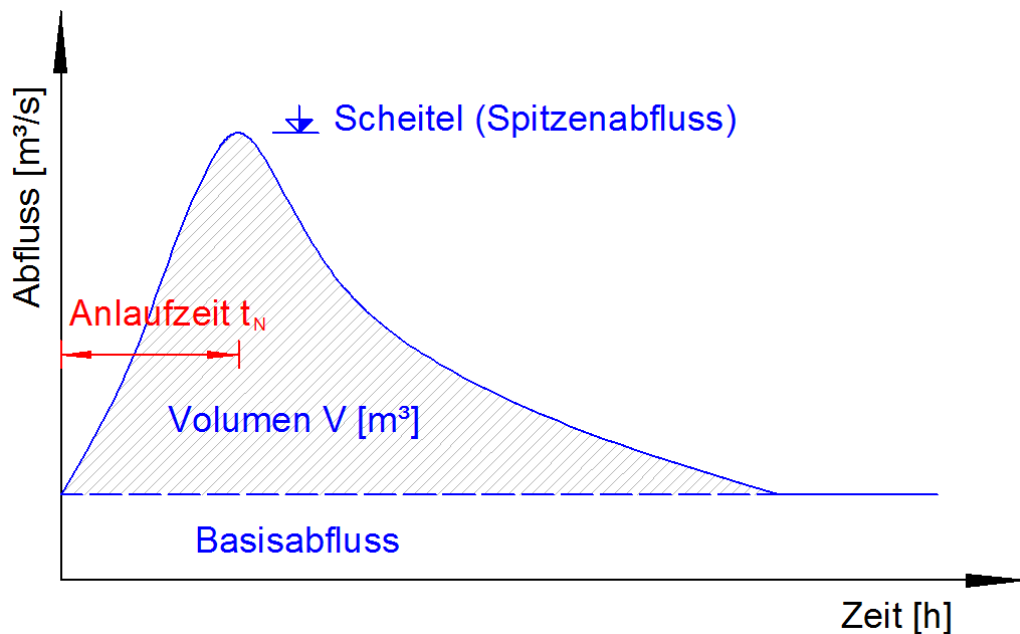


Abb. 29: Hochwasserwelle schematisch (eigene Darstellung)

Der Scheitel wird durch den Spitzenabfluss angegeben. Bei schutzwasserbaulichen Planungen stellt er in der Regel das Bemessungsereignis dar.

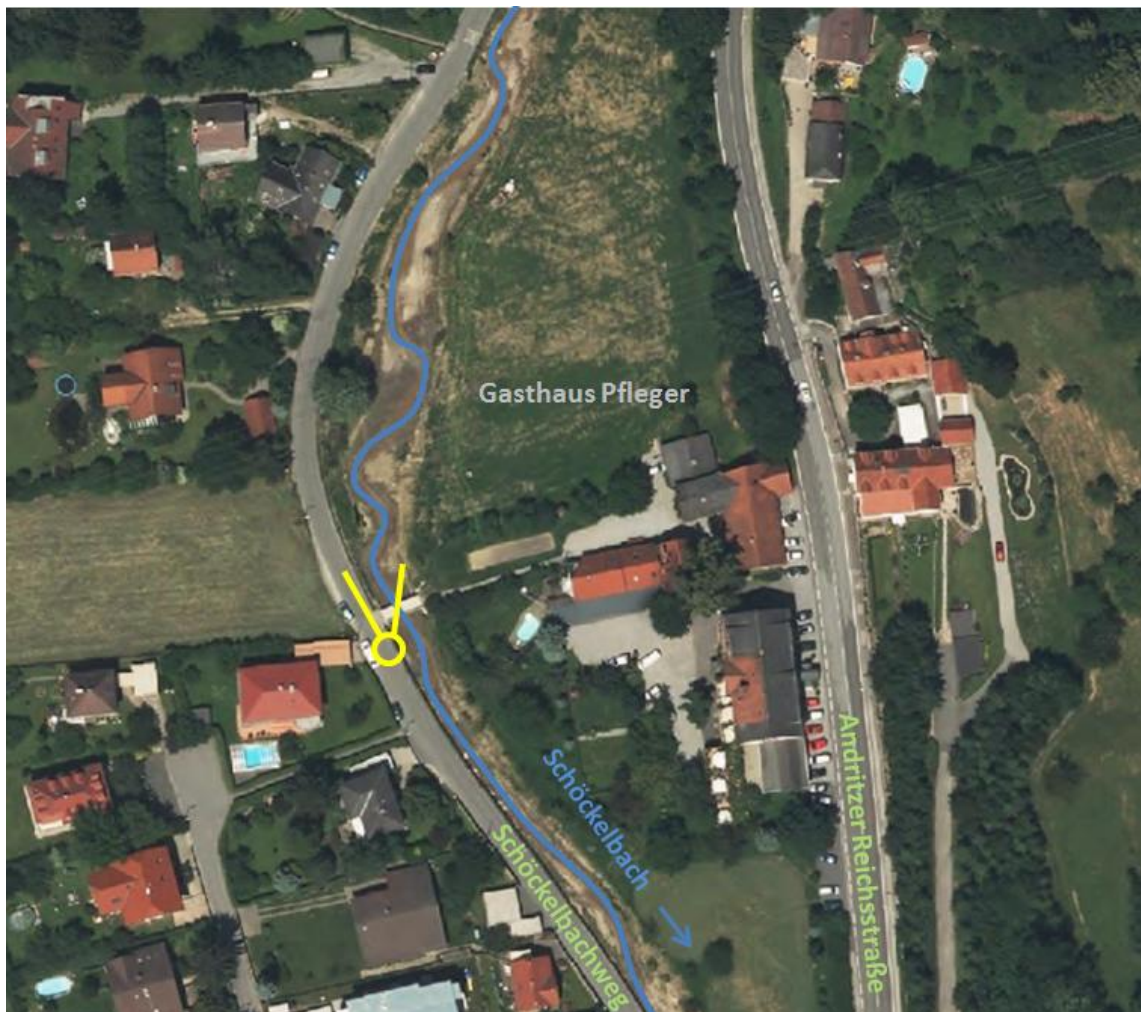


Abb. 30: Fotostandort (gelb) zu Abb. 32 (Orthofoto: GIS-Steiermark)

Der Spitzenabfluss ist demnach der für das zu Grunde liegende Ereignis maximal auftretende Abfluss. Zu einem bestimmten Zeitpunkt muss dieser Abfluss in einem Gerinne abgeführt werden. Als Beispiel für einen hochwasserführenden Bach zeigen die beiden nachfolgenden Abbildungen (Abb. 31 und Abb. 32, S. 47) den in Abb. 30 dargestellten Bereich des Schöckelbaches auf Höhe Schöckelbachweg Nr. 13 zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Am unteren Bild ist ein winterlicher Normalabfluss abgebildet, das obere Bild zeigt dieselbe Stelle zum Zeitpunkt des Hochwassers am 21. August 2005.



Abb. 31: Hochwasserabfluss am Schöckelbach, Höhe Schöckelbachweg Nr. 13, bachaufwärts [82]

Deutlich zu erkennen ist der Unterschied der Wasserspiegelhöhen, wobei die Abflusskapazität dieses Bereiches im oberen Bild bereits ausgeschöpft ist.



Hochwasserabfluss aus
Abb. 31 (qualitativ)

Abb. 32: Normalabfluss am Schöckelbach, Höhe Schöckelbachweg Nr. 13, bachaufwärts [76]

Das auf beiden Abbildungen (Abb. 31, Abb. 32) zu findende Brückengeländer kann dabei zur Orientierung herangezogen werden. Die gelbe Markierung in

Abb. 32 soll qualitativ die Wasserspiegellinie aus Abb. 31 abbilden. Anhand einer nachfolgenden Analyse wurde dieses Ereignis auf ein HQ20, also ein 20-jährliches Hochwasser, geschätzt. Auf dem Orthofoto in Abb. 30 sind auch bereits erste Linearmaßnahmen in Form von Gerinneaufweitungen erkennbar. [82]

Ebenfalls von Bedeutung ist die Anlaufzeit t_N , welche die Zeit vom ersten Erkennen einer Wasserspiegelerhöhung bis zum Eintreffen der Hochwasserspitze definiert. Zur Ermittlung des Spitzenabflusses stehen mehrere Modelle zur Verfügung, weshalb diese Daten auch relativ einfach im Zuge eines hydrologischen Gutachtens für jedes Gerinne beim Amt der Steiermärkischen Landesregierung eingeholt werden können.

Die genaue Ermittlung der Form einer Hochwasserganglinie, insbesondere der Anlaufzeit, bedingt allerdings weiterführende Berechnungen. Für die Grazer Bäche stehen derartige Berechnungen in Form einer Niederschlags-Abfluss-Modellierung zur Verfügung. Für die Dimensionierung eines Hochwasserrückhaltebeckens ist die Hochwasserganglinie von entscheidender Bedeutung. Für den Katastrophenschutz bildet die Anlaufzeit eine wichtige Information im Hochwasserfall. Durch ihre Kenntnis lässt sich ein Zeitfenster für durchzuführende Schutzmaßnahmen abschätzen.

Tabelle 5: Hochwasserabflüsse einiger Grazer Bäche sowie der Mur [83]

| | HQ30 [m ³ /s] | HQ100 [m ³ /s] |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| Falkenbach | 3,5 - 4,0 | 5,0 - 6,0 |
| Andritzbach | 22,0 - 24,6 | 35,0 - 37,1 |
| Gabriachbach | 8,0 - 10,0 | 12,0 - 15,0 |
| Schöckelbach | 36,0 - 41,0 | 55,0 - 64,0 |
| Dürschöckelbach | 9,5 | 11,0 |
| Pfangbach | 2,9 | 4,5 |
| Weizbach | 7,5 - 10,0 | 11,0 - 15,0 |
| Mur | 980 | 1300 |

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die 30- und 100-jährlichen Hochwasserabflüsse einiger Grazer Bäche, ergänzt um jene Werte der Mur. Typische 30-jährliche Hochwasserabflüsse für die Grazer Bäche liegen somit zwischen rund 3 m³/s an Falkenbach und Pfangbach bis hin zu knapp 25 m³/s

am Andritzbach oder 41 m³/s am Schöckelbach. Die angegebenen Schwankungsbreiten beziehen sich auf verschiedene Bereiche der jeweiligen Bäche, da der Hochwasserabfluss durch verschiedene seitliche Zuflüsse bachabwärts zunimmt und ein Hochwasserabfluss demnach je nach betrachtetem Bachabschnitt variiert.

3.2. Simulieren eines Hochwasserereignisses

Um nun ein Hochwasserereignis an einem bestimmten Gerinne genauer betrachten zu können, gilt es vorerst, die zugehörigen Einzugsflächen zu ermitteln. Hierfür bedient man sich in der Regel einem Geländemodell, welches einem dreidimensionalen Abbild des natürlichen Geländes entspricht. In der weiterführenden „Niederschlags-Abfluss-Modellierung“ werden allen Teilflächen des Geländemodells entsprechende Abflussbeiwerte hinterlegt. Diese Abflussbeiwerte spiegeln die Ausprägung des Untergrundes wieder und berücksichtigen somit etwa verschiedene Vegetationsformen oder Versiegelungen. Sie geben also die lokale Abflusswirksamkeit des Niederschlags an. Flächen mit hoher Speichermöglichkeit, beispielsweise flache Waldstücke, weisen demnach einen geringen Abflussbeiwert auf. In der Simulation wird letztlich von einem bestimmten Regenereignis ausgegangen, welches einer bestimmten Jährlichkeit entspricht. Aus all diesen Daten – Gelände, Abflussverhalten und Regenmenge – ergibt sich schlussendlich ein Modell für das Verhalten des zugehörigen Vorfluters, dem betrachteten Gerinne bzw. Bachlauf.

3.2.1. Abflussberechnung

Bei der durchzuführenden Abflussberechnung wird zwischen drei verschiedenen Modellen unterschieden. Ein-, zwei- und dreidimensionale Modelle stehen zur Berechnung zu Verfügung.

1D-Berechnungen bilden ein einfaches Instrument, um die Wasserspiegellage für jeden beliebigen Querschnitt zu jedem beliebigen Zeitpunkt zu berechnen. Charakteristisch für diese Form der Berechnung ist jedoch, dass die Wasserspiegellinie stark idealisiert nur als horizontale Linie betrachtet wird.

Ebenso wird von einer konstanten Geschwindigkeitsverteilung über den gesamten Querschnitt ausgegangen. Darunter ist zu verstehen, dass sowohl in den Randbereichen als auch in der Achse des Gerinnes dieselbe Geschwindigkeit vorausgesetzt wird. Beide Annahmen spiegeln die Natur nicht exakt wieder, wodurch die 1D-Berechnung eher als Instrument der Abschätzung anzusehen ist. Gerade wenn es darum geht, zu definieren, bis zu welchen Bereichen sich eine Überflutung ausbreiten wird, werden die dadurch entstehenden Unsicherheiten sehr hoch. Vorteile dieser Berechnungsweise liegen allerdings in den kurzen Berechnungszeiten und der geringen Anforderung an technische Ressourcen (die üblichen Softwarelösungen können auf handelsüblichen Heim-PCs ausgeführt werden).

2D-Berechnungen teilen das betrachtete Querschnittsbild in einzelne, vertikale Stromfäden (Vgl. Abb. 33), welche separat einer Berechnung zugeführt werden. Dadurch können Phänomene wie das Ansteigen des Wasserspiegels an der Bogenaußenseite und verschiedene Sekundärabflüsse im Falle einer Überflutung berücksichtigt werden. Der Nachteil sind jedoch hohe Rechenzeiten. Aufgrund der deutlichen Qualitätserhöhung bei der Bestimmung der Hochwasseranschlagslinien stellen derartige Methoden allerdings den heutigen Standard bei der Betrachtung von größeren Bächen und Flussläufen für Bauzwecke oder zur Verwendung im Hochwasser- und Katastrophenschutz dar.

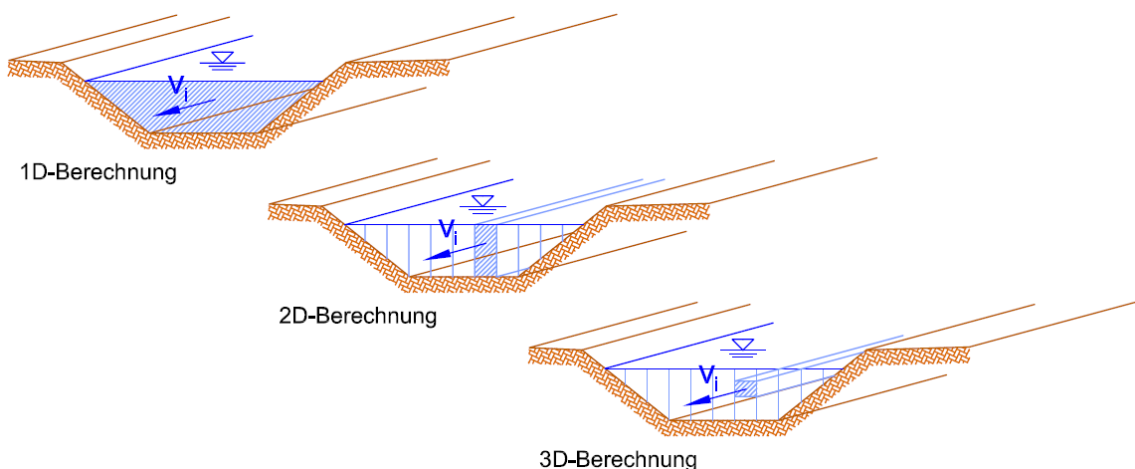


Abb. 33: Vergleich verschiedener Berechnungsverfahren

3D-Berechnungen betrachten zusätzlich zur 2D Berechnung einen nicht-konstanten Geschwindigkeitsverlauf in vertikaler Richtung der einzelnen Stromfäden. Dadurch wird berücksichtigt, dass die Fließgeschwindigkeiten in Sohlhöhe bzw. an der Wasseroberfläche nicht gleich sind. Es ist offensichtlich, dass sich die auch bei der 2D-Berechnung bereits hohen Rechenzeiten erneut erhöhen. Die Qualitätsverbesserung in Bezug auf das Endergebnis ist jedoch, bezogen auf die Anforderungen des Hochwasserschutzes, nicht im selben Maß gegeben wie bei der Genauigkeitsänderung der Berechnung von 1D auf 2D. So werden dreidimensionale Untersuchungen heute in der Regel nur für Detailbetrachtungen herangezogen. [51]

3.2.2. Ergebnisse einer Abflussuntersuchung

Als Ergebnis einer Abflussuntersuchung erhält man eine räumliche Simulation des Abflussverhaltens im betrachteten Gewässerabschnitt. Daraus lassen sich beispielsweise Wasserspiegellagen in einzelnen Profilen oder Überflutungsflächen ablesen. Häufig finden derartige Berechnungen Anwendung im Bereich der Raumplanung oder zur Bestimmung gefährdeter Flächen im Hochwasserfall.

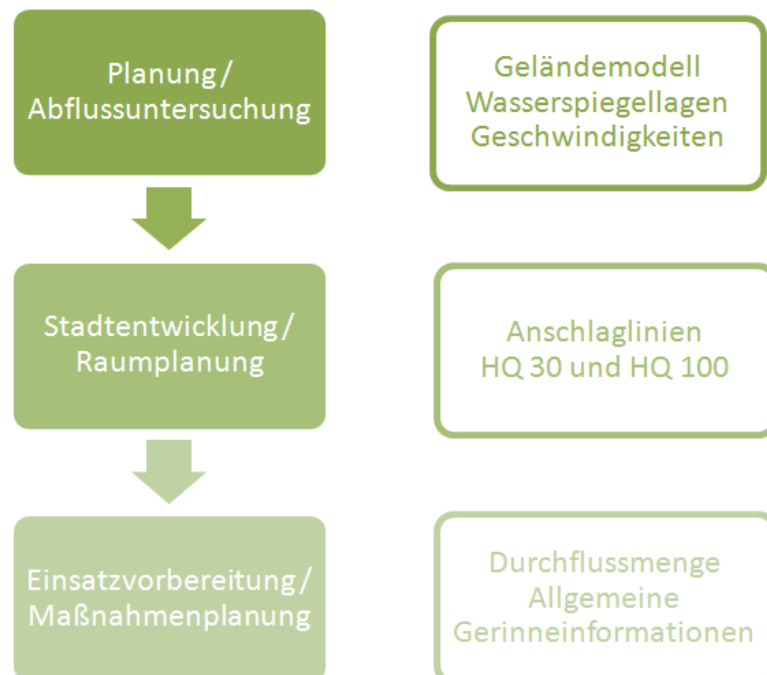


Abb. 34: Kontinuierlicher Informationsverlust (eigene Darstellung)

Wichtigste Information für diese Anwendungen stellen die Anschlaglinien dar. Die Anschlaglinie wird in der Regel am Lageplan abgebildet und zeigt die äußerste räumliche Grenze aller Überflutungsbereiche an. Häufig werden als Auswertung einer Berechnung lediglich zwei dieser Anschlaglinien, nämlich jene des HQ30 sowie des HQ100 ausgewertet. Allgemein kann dabei der HQ30-Bereich als Gefahrenzone und der HQ100-Bereich als Warnzone gewertet werden.

Für die vorhin genannten Anwendungen reichen diese Angaben in der Regel aus, auch wenn die Ergebnisse einer Abflussuntersuchung weit umfangreicher sind.

Wie in Abb. 34 (S. 51) dargestellt gehen bis zur „Anwendung“ der Ergebnisse im Katastrophenschutz weitere Inhalte verloren.

3.2.3. Einschränkungen in der Fließgewässermodellierung

Gerade im Katastrophenschutz ist die Frage „Wie verlässlich sind diese Daten?“ wichtig. Deshalb soll an dieser Stelle kurz auf die Probleme bei der Fließgewässermodellierung eingegangen werden.

Wie bereits dargestellt stützen sich Fließgewässermodellierungen auf Geländemodelle sowie mehrerer Annahmen einerseits in der Hydrographie, andererseits im Zuge der Abbildung der Natur wie zum Beispiel durch die Einschätzung der Oberflächenbeschaffenheit des Gerinnes sowie des umgebenden Geländes. In einem Beitrag in der Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaft führten FINK et al. (2006) ihre Untersuchungsergebnisse zum Vertrauensbereich berechneter Wasserspiegellagen für 1D- und 2D-Modelle aus [34]. Für die Grazer Bäche stehen derzeit lediglich eindimensionale Berechnungen zur Verfügung, welche von FINK et al. anhand eines 3,4 km langen Flussabschnittes an der Enns mit der Software HECRAS untersucht wurden.

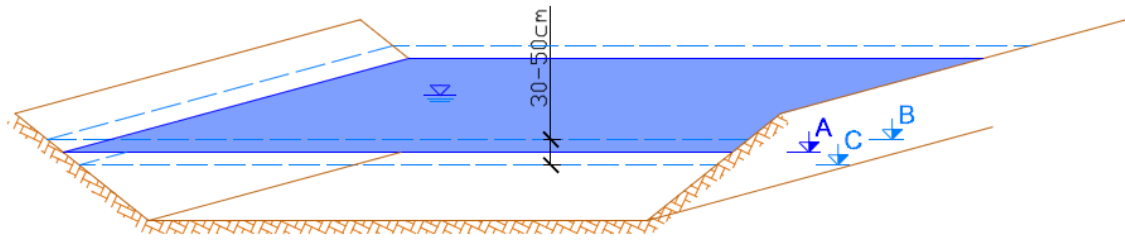


Abb. 35: Fehlerbandbreiten für 1D-Modelle, nicht maßstäblich

Dabei ergaben sich aus der Variation der Rauigkeit (Vgl. Strickler-Beiwert, Kapitel 3.5.3) sowie der Variation des Bemessungsabflusses Wasserspiegelschwankungen in einer Bandbreite von 30 – 50 cm. Als weitere wichtige Einflussfaktoren stellten sich die Wahl der Profilabstände und die Genauigkeit des Geländemodells heraus. Ihr Einfluss kann allerdings durch gewissenhafte und genaue Modellierung reduziert werden.

In der Gewässermodellierung ebenfalls von Bedeutung ist die Änderung der Sohle bzw. der gesamten Geländegeometrie.

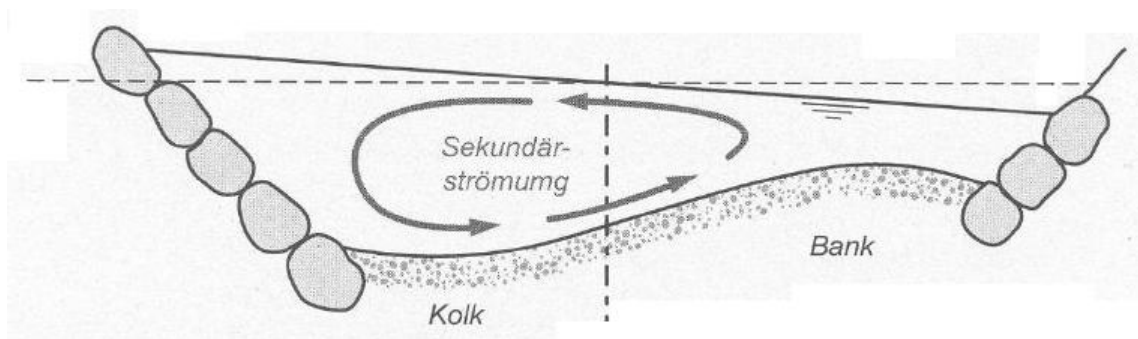


Abb. 36: Kolkbildung in einer Flusskrümmung [57]

Durch Anlandungen oder Kolke kommt es zu einer Änderung des Querprofils und dadurch zu einer Veränderung der Wasserspiegellage. Bei Kolken handelt es sich um Eintiefungen in der Sohle, welche meist aufgrund lokal auftretender Strömungsspitzen entstehen. Durch derartige Strömungen wird Sohlmaterial abgetragen, und an anderer Stelle im Gerinne wieder abgelagert. Bei diesen Ablagerungen spricht man wiederum von Anlandungen. Derartige Vorgänge entstehen beispielsweise in Flussbögen, wo sich eine sogenannte

Sekundärströmung ausbildet (Vgl. Abb. 36). Sie führt zu einem Kolk an der Bogenaußenseite und zu Anlandungen an der Bogeninnenseite.

In den meisten Berechnungen werden derartige Phänomene nicht berücksichtigt. Modellierungen mit beweglicher Sohle sind sehr aufwendig und befinden sich heutzutage noch im Forschungsstadium. Auch wenn Sohländerungen bei den Untersuchungen von FINK et al. keine großen Auswirkungen zeigten, spielen sie doch eine wichtige Rolle und zählen heute auf jeden Fall zu den Unsicherheiten in der Fließgewässermodellierung.

Trotz aller Unsicherheiten zeigen Fließgewässermodellierungen ein realitätsnahes Bild, welches unter Einbeziehung der Unsicherheitsfaktoren allerdings richtig gedeutet werden will.



Abb. 37: Weiterführende Literatur [13] [78]

3.3. Schutzwasserbau

Zu den Aufgaben des Schutzwasserbaus gehört in Bezug auf die Grazer Bäche vor allem die Optimierung des Abflussverhaltens in jener Form, dass Schäden an Gebäuden, Infrastruktur oder im schlimmsten Fall an Mensch und Tier weitestgehend vermieden werden. Dazu sind in der Regel umfangreiche Untersuchungen der gesamten Einzugsgebiete, der Hydrographie sowie der

Gerinne selbst erforderlich. Dem Wasserbauingenieur steht zur Optimierung des Abflussverhaltens eine Reihe an Mitteln zur Verfügung, auf welche in Kapitel 3.6 eingegangen wird.

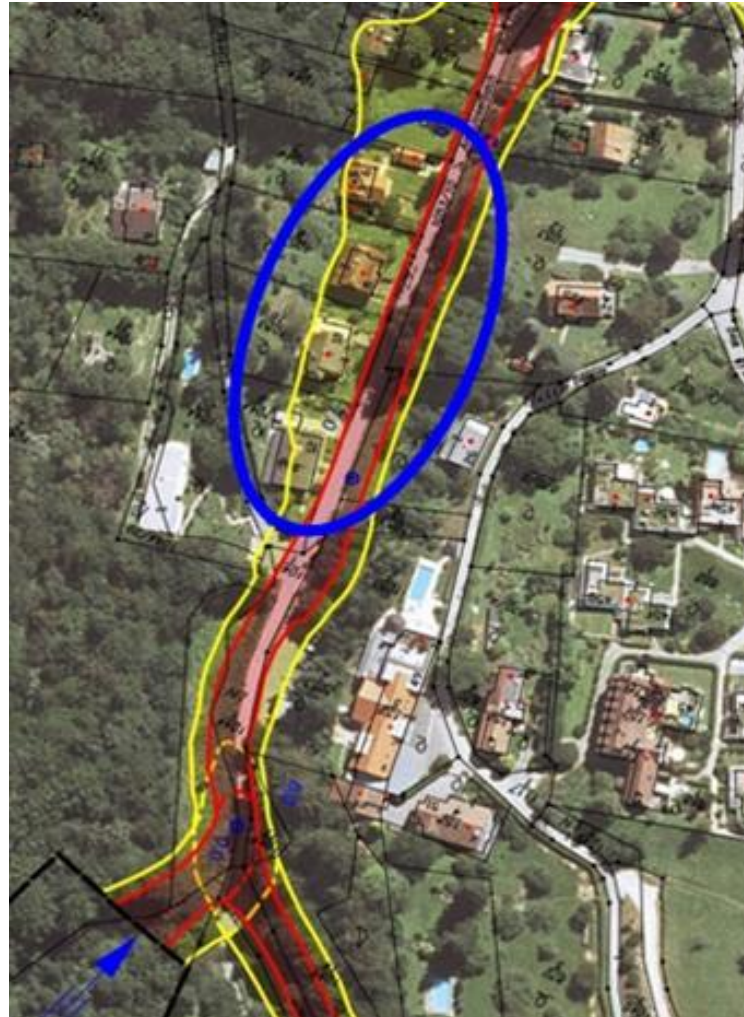


Abb. 38: Der in Abb. 39 gezeigte Bereich aus der Vogelperspektive [26]

Ein Fallbeispiel aus Graz zeigen Abb. 38 und Abb. 39. Es handelt sich dabei um den Josefbach, einen Zubringer des Mariatrosterbachs. Das vermeintlich harmlose Gerinne entlang der Straße kann im Falle eines Hochwasserereignisses überborden, wie aus den Ergebnissen der Abflussuntersuchung entnommen werden kann. Die rote Markierung entspricht in obiger Abbildung einem HQ30, die gelbe Markierung einem HQ100.

Das Ziel des Schutzwasserbaus ist es, dieses Abflussverhalten durch geeignete Maßnahmen zu entschärfen und dadurch die in Abb. 38 ersichtlichen gefährdeten Bereiche zu minimieren.



Abb. 39: Bachabschnitt des Josefbachs in Graz mit eingezeichneten Hochwasseranslaglinien gemäß Abflussuntersuchung [26]

3.3.1. Auslegung wasserbautechnischer Anlagen

Wenngleich große Mengen an Geldmitteln für den Hochwasserschutz in Österreich zur Verfügung gestellt werden, darf man nicht vergessen, dass trotz aller Vorkehrungen niemals ein hundertprozentiger Schutz vor der „Naturgewalt Wasser“ gegeben sein wird. Bei Projekten der Schutzwasserwirtschaft ist es unabdingbar, Kompromisse einzugehen. Nur so können die vorhandenen finanziellen Mittel mit größtmöglicher Effizienz eingesetzt werden. Im Wasserbau bedeutet dieser Kompromiss das Festlegen eines Schutzzieles. Das Schutzziel entspricht der Ausbauwassermenge, das heißt die angenommene Jährlichkeit, auf welche eine Schutzmaßnahme ausgelegt wird. Dieses Schutzziel ist abhängig davon, mit welchem Aufwand welche Werte gerettet werden können. In Österreich werden wasserbauliche Anlagen meist auf ein HQ100 ausgelegt, Projekte der Wildbach- und Lawinverbauung oftmals auf ein HQ150. Stehen die dafür aufzuwendenden Mittel allerdings in keinem Maße zu den geschützten Sachwerten, kann dieses Schutzziel auch oftmals unterschritten werden. Im Grunde werden Geldmittel demnach vorrangig dort eingesetzt, wo der Nutzen möglichst hoch ist. Mit der Einführung der Eurocodes – den europaweit einheitlichen Regeln zur Bauwerksbemessung

– fand der Gedanke im Sinne eines semiprobabilistischen Systems auch Einzug in vielen anderen Disziplinen des Bauwesens. Die geforderten Sicherheiten an Bauwerken hängen somit von den im Zuge eines Versagens zu erwartenden Schäden ab.

3.3.2. Sicherheitstechnische Aspekte im Bauwesen

Wie bereits erwähnt spielt Sicherheit in allen Disziplinen des Bauwesens eine große Rolle. Durch eine Vielzahl von Normen, Regelwerken und Gesetzen ist sichergestellt, dass im Zuge der Planung, Projektierung, Bauausführung und Benützung von Bauwerken aller Art Sachwerte und vor allem Personen nicht gefährdet werden. Dies gilt natürlich auch für alle Anwendungen im Bereich des Wasserbaus. Durch entsprechende Flächenwidmungen können gefährdete Gebiete von Bebauung freigehalten werden, durch die Dimensionierung von Wasserkraftanlagen ist die Durchgängigkeit einer Anlage bis zum Bemessungsereignis gegeben und durch die Auslegung von Regenwasserkanälen können Niederschlagswässer auch in urbanen Gegenden schadlos abgeführt werden. Für all diese Bereiche wurden über die Jahre empirisch die nötigen Sicherheitsreserven ermittelt, welche heute den Standard bei der Planung verschiedener Bauwerke bilden. Der Bauingenieur trägt dabei in hohem Maße zur Sicherheit in unser aller Alltag bei. Wo jedoch endet die Verantwortung des Bauingenieurs? Aller Regel nach endet diese bei der Übergabe eines Bauwerks an den Endnutzer. Auch wenn die letztlichen Betreiber einer Anlage ebenfalls aus dem Bereich des Bauwesens kommen, sind diese mit der Planung und der Entwicklung der Anlage oft nicht vertraut. So sind Entscheidungen, die im Planungsprozess getroffen wurden, während des Betriebes unter Umständen nicht mehr nachvollziehbar. Mit der Indienststellung kommt es somit zu einem Informationsverlust: Alle bei der Projektierung durchgespielten aber nicht zur Ausführung gelangten Varianten, die Grundlagen der Dimensionierung, die Wahl von Sicherheiten und viele weitere Informationen gehen eventuell verloren. Kommt es nun allerdings zu einem Zwischenfall, zu einer unvorhergesehenen Belastung oder einer sonstigen Bedrohung für Menschen, Tiere oder Sachwerte fehlen genau diese Inhalte. Die letztlich mit dieser Situation konfrontierten Personen – in der Regel die

jeweiligen Blaulichtorganisationen – verfügen somit oft nicht über ursprünglich vorhandene Informationen.

3.3.3. Schnittstellenproblematik am Beispiel des vorbeugenden Brandschutzes

Im Hochbau betrifft die eben beschriebene Problematik hauptsächlich die Brandbekämpfung. In den letzten Jahrzehnten zeigte sich, wie wichtig hierbei eine intensive Zusammenarbeit zwischen der Feuerwehr und dem Bauwesen ist. Bedingt durch beiderseitliche Fortschritte nahm diese Notwendigkeit immer weiter zu. Die Bautechnik entwickelte sich zunehmend in Richtung neuartiger Materialien und insbesondere hin zu leichteren Bauweisen, die Gebäude erreichten immer größere Ausmaße.



Abb. 40: Brandbekämpfung einst und heute [25] [37]

Die Feuerwehr konnte durch verkürzte Meldewege rascher eingreifen und mit neuer Technik weiter in ein Gebäude vordringen, die Brandbekämpfung beschränkte sich nicht mehr nur auf das Löschen von außen sondern wurde unmittelbar am Brandherd durchgeführt (Vgl. Abb. 40).

Durch die heutzutage übliche Zusammenarbeit können abwehrende Maßnahmen durch die Feuerwehr gezielter durchgeführt werden. Brandschutzpläne bieten Angaben zum Gebäude selbst und stellen wichtige Informationsquellen für die Einsatzkräfte dar, Erfahrungen seitens der Einsatzkräfte konnten in Regelwerke und Normen einfließen und machen Bauwerke heute sicherer. Diese Zusammenarbeit beginnt bereits in der Planungsphase, wodurch ein umfangreicher Informationsaustausch gegeben ist. Auch wenn der vorbeugende Brandschutz in vielen Bereichen noch

ausbaubar und Details oft noch nicht vollständig zufriedenstellend gelöst sind, so kann er doch als Vorbild für eine Symbiose von Feuerwehr, Katastrophenschutz, Behörde und Bauwesen im Hochwasserschutz dienen. Im Zuge der Projektierung von Hochwasserschutzmaßnahmen fallen viele Informationen sozusagen als Nebenprodukt an, die den Einsatzkräften im Anlassfall eine Hilfestellung bieten können.

3.4. Integrierter Hochwasserschutz als Ziel

Aktuelle Forschungsthemen beschäftigen sich bereits mit Anforderungen aus dem Bereich des Katastrophenschutzes, ganz im Sinne eines integrierten Hochwasserschutzes. Besonders das Thema Frühwarnung spielt – vermutlich aufgrund der großen Nachfrage verschiedener, auch kommerzieller Nutzergruppen – aktuell eine große Rolle. Komplexe Verfahren finden hier umfangreiche Anwendung, um die Behörden und in weiterer Folge auch die Bevölkerung vor Gefahren aus Hochwasserereignissen zu warnen. Ergebnisse aus derartigen Entwicklungen werden von den Einsatzorganisationen gerne aufgenommen und auch genutzt. Grundsätzlich werden, laut Ansicht des Verfassers, die umfangreichen Möglichkeiten des Informationsaustausches zwischen den einzelnen Partnern noch nicht in vollem Umfang ausgenutzt.

Nachfolgend sollen einige Anregungen die vielfältigen Kommunikationsmöglichkeiten veranschaulichen.

3.4.1. Gemeinsame Dokumentation

Die Dokumentation von Hochwasserereignissen spielt in der Weiterentwicklung verschiedener Simulationsverfahren sowie in der Eichung lokaler Berechnungsergebnisse eine große Rolle. Außer den Blaulichtorganisationen, die im Falle eines Hochwassers in den meisten Fällen vor Ort sind, bleibt der „Lokalausweis“ zum Zeitpunkt des Geschehens den meisten Interessensgruppen allerdings vorenthalten. Zumeist wird im Nachhinein versucht, das Abflussverhalten nachzuvollziehen, was oft nur sehr schwer möglich ist. Durch eine Sensibilisierung der Einsatzkräfte auf die Notwendigkeit derartiger Informationen könnte hier eventuell eine Verbesserung der

Dokumentation von Hochwasserereignissen erreicht werden. Gerade durch die heutzutage übliche weite Verbreitung von digitalen Fotokameras stehen bei den Feuerwehren oft überraschend umfangreiche Dokumentationen zur Verfügung. Diese Informationen können für die Projektierung und Simulation sehr hilfreich sein. Auf die Wichtigkeit der Dokumentation von Schadensfällen geht auch PÖLZL (2010) in seinem Vortrag im Zuge des 11. Aprilsymposiums in Graz ein. So sieht er die Schadensanalyse als wesentlichen Erfolgsfaktor, unter anderem im Brandschutz [74].

„Die enormen Erfolge in den Bereichen Unfallverhütung, Arbeitsschutz oder Brandschutz verdanken wir allein der systematischen Analyse von eingetretenen Ereignissen und experimenteller Forschung.“

3.4.2. Zusätzliche Informationen aus Abflussuntersuchungen

Umgekehrt entstehen im Zuge von Abflussuntersuchungen umfangreiche „Nebenprodukte“ wie zum Beispiel die zeitliche Abfolge von Überflutungen (Vgl. Kapitel 4), die derzeit keiner weiteren Nutzung zugeführt werden. Im Zuge eines umfangreicheren Datenaustausches könnten viele dieser Informationen die Einsatzkräfte im Anlassfall unterstützen. Diese Möglichkeit der gemeinsamen Nutzung von Informationen soll in den nachfolgenden Kapiteln einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

3.4.3. Gemeinsames Auftreten bei der Vorbeugung

Die Vorbeugung am eigenen Gebäude spielt im Hochwasserschutz eine entscheidende Rolle. Das Eigenheim bis zu einem gewissen Grad „hochwassersicher“ auszugestalten liegt in der Verantwortung jedes Einzelnen. Was im vorbeugenden Brandschutz bereits zu weiten Teilen umgesetzt ist, hinkt im vorbeugenden Hochwasserschutz noch hinterher: Der tragbare Feuerlöscher ist in beinahe allen Wohngebäuden zu finden, Sandsäcke oder mobile Hochwasserschutzelemente haben hingegen Seltenheitswert! Im Zuge einer Zusammenarbeit sollten Behörden und Einsatzkräfte besonders auf diese Eigenverantwortung hinweisen und mit Ratschlägen zur Seite stehen. Gerade in der Landeshauptstadt Graz wird diese Maßnahme bereits vielseitig

umgesetzt, auch hier gilt es allerdings für die Zukunft, diesen Weg konsequent weiter zu verfolgen.

3.5. Wie viel Wasserbau braucht der Feuerwehrmann?

Im Anlassfall eines Hochwasserereignisses werden Einsatzkräfte plötzlich und meist ohne Vorwarnung mit der „Urgewalt Wasser“ konfrontiert. Die Arbeit der Feuerwehren und anderer beteiligter Organisationen umfasste in längst vergangenen Jahren oft nur Aufräumarbeiten, das eigentliche Hochwasserereignis spielte meist eine untergeordnete Rolle. Im Zuge der Steigerung des Sicherheitsbewusstseins in der Bevölkerung, der Fortschritte in der Alarmierungs- und Kommunikationstechnologie und dem Ausbau des Schutzwasserbaus besteht für Blaulichtorganisationen heute die Möglichkeit, viel früher in ein Geschehen eingreifen zu können. Dieser Vorteil für die Bevölkerung bedeutet allerdings zugleich einen bedeutenden Mehraufwand für die Einsatzkräfte. Kontinuierlich steigen die Anforderungen vor allem an Führungskräfte, ein Trend der nicht nur im Bereich des Hochwasserschutzes zu erkennen ist.

Hochwasserschutz, Hydrodynamik oder hydrologische Phänomene gehörten lange Zeit nicht zu den Ausbildungsinhalten eines Feuerwehrmannes. Ob und in welchem Umfang derartige Informationen allerdings von Erfordernis sind, soll im nachfolgenden Kapitel erörtert werden. Eine möglichst kurz gehaltene Zusammenfassung der wichtigsten wissenschaftlichen Hintergründe soll den Grundstein für eine gemeinsame Basis zur Bewältigung eines Hochwasserereignisses bilden.

3.5.1. Hydrodynamik

„Hydrodynamik ist die Lehre von der Bewegung des Wassers und den dabei wirksamen Kräften.“ [78]

Diese einfache Begriffsdefinition zeigt zugleich auch die enge Verknüpfung der Hydrodynamik mit Hochwasserereignissen. Sie bildet sozusagen die Grundlage, um die komplexen Abläufe des Hochwasserabflusses verstehen zu können. Die nachfolgend behandelten Teilgebiete der Hydrodynamik werden in

jedem Fall stark vereinfacht dargestellt, um letztlich auch dem Wasserbau-Laien eine vernünftige Basis zu bieten. Weiters beziehen sich die Ausführungen speziell auf die Anwendung im Bereich von Gerinnen kleinerer bis mittlerer Größe, um der grundlegenden Thematik der vorliegenden Arbeit – dem Hochwasserabflussgeschehen der Grazer Bäche – Rechnung zu tragen.

3.5.2. Kontinuitätsbedingung

Die Kontinuitätsbedingung stellt die Grundlage für viele hydraulische Berechnungen dar. Sie gibt an, dass ein Durchfluss aus dem Produkt seiner Geschwindigkeit (v) und der durchströmten Fläche (A) besteht.

$$Q = v \cdot A = \text{const.}$$

Q bezeichnet demnach den Wasserdurchfluss an einem bestimmten Querschnitt. Er wird in Kubikmeter pro Sekunde [m^3/s] angegeben. Der Durchfluss ist grundsätzlich konstant, also an jedem Punkt gleich. Als erläuterndes Beispiel soll eine Verjüngung an einer vollständig gefüllten Rohrleitung dienen. Steht dem Wasser an zwei beliebigen Querschnitten X und Y der Rohrleitung unterschiedlich viel „Platz“ zur Verfügung, muss es sich demnach verschieden schnell fortbewegen (Vgl. Abb. 41). Nichts anderes sagt die Kontinuitätsbedingung wie oben dargestellt aus: Um einen konstanten Durchfluss zu erhalten, muss bei geringerer Fläche eine höhere Geschwindigkeit erreicht werden. Bezogen auf Abb. 41 ergibt sich daraus, dass die Geschwindigkeit v_2 aufgrund der Querschnittsreduktion höher sein muss, als v_1 .

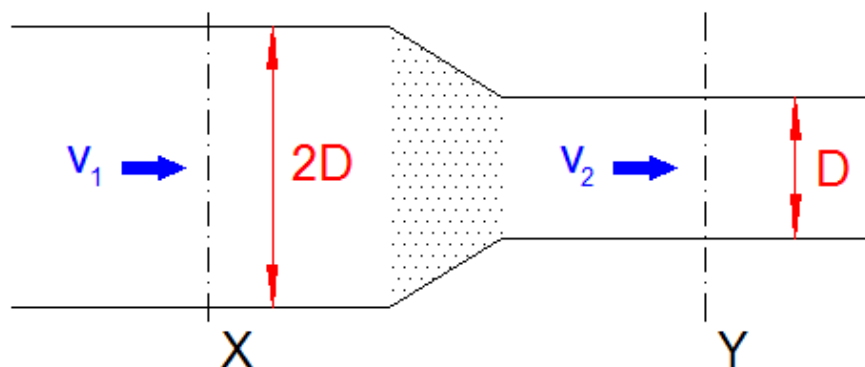


Abb. 41: Verschiedene Fließgeschwindigkeiten bei unterschiedlichem Querschnitt in einer Rohrleitung

Bei der Betrachtung eines Bachlaufes gilt dieser Zusammenhang ebenso, allerdings ist die Querschnittsgeometrie vorerst nicht eindeutig bestimmt. Der Abflussquerschnitt ist nach oben offen und weist eine freie Wasseroberfläche auf, weshalb die Querschnittsfläche von der Fließhöhe abhängig ist.

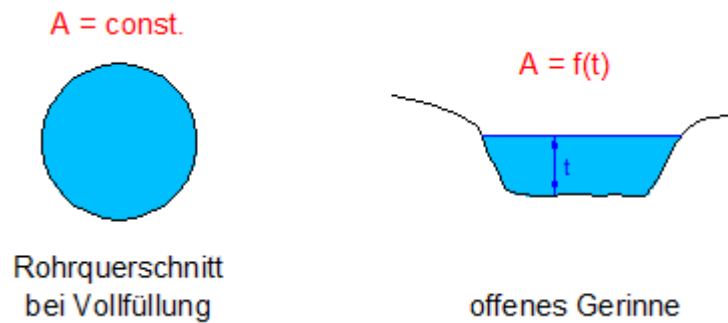


Abb. 42: Fließquerschnitt bei Vollfüllung und offenem Gerinne

Entgegen einer vollgefüllten Rohrleitung, wie sie in Abb. 41 angenommen wurde, ist dabei der Abflussquerschnitt A wie in Abb. 42 (rechts) dargestellt durch eine Funktion der Abflusstiefe t bestimmt. Eine Möglichkeit zur Bestimmung der Abflusstiefe stellt die Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler dar.

3.5.3. Gauckler-Manning-Strickler

Die Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler dient der Berechnung der Fließgeschwindigkeit in einem Gerinne. Diese setzt sich aus dem Strickler-Beiwert k_{St} , dem hydraulischen Radius R sowie dem Gefälle I zusammen. Erweitert um die zuvor angeführte Kontinuitätsbedingung kann daraus auch die Abflusstiefe in einem Gerinne ermittelt werden. Da sowohl A als auch R Funktionen der Abflusstiefe t darstellen, kann diese allerdings nur iterativ bestimmt werden.

$$v = \frac{Q}{A} = k_{St} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Der Strickler-Beiwert k_{St} steht dabei für die Berücksichtigung der Rauigkeit der benetzten Flächen, also der Untergrundbeschaffenheit. Beispiele für verschiedene Materialien sind in Tabelle 6 ersichtlich. Die Fließgeschwindigkeit hängt demnach maßgebend von den vorgefundenen natürlichen oder

künstlichen Randbedingungen ab. Näherungsweise kann für natürliche Gerinne ein gemittelter Strickler-Beiwert herangezogen werden. Für detailliertere Betrachtungen wie beispielsweise einer Abflussuntersuchung ist es allerdings erforderlich, die Rauigkeit genauer abzubilden.

Tabelle 6: Darstellung verschiedener Stricklerbeiwerte (nach [78])

| Beispiele für Stricklerbeiwerte | | | |
|------------------------------------------------|-------|--------------------------------------|--------|
| Wildbach, ruhendes Geschiebe | 25-28 | Gemauerter Kanal, normales Mauerwerk | ca. 60 |
| Fluß mit fester Sohle, ohne Unregelmäßigkeiten | 40-42 | Betonkanal, geglätteter Beton | ca. 90 |
| Vorland, je nach Bewuchs | 20-25 | Bruchsteinkanal, grob behauen | ca. 50 |

Wie in Abb. 43 dargestellt wird deshalb der Querschnitt in einzelne Bereiche unterteilt, welchen jeweils eigene Beiwerte zugewiesen werden. Im hier vorliegenden Beispiel handelt es sich um einen Abschnitt des Schöckelbaches im Bereich der Brücke Schöckelbachweg. Die natürliche Böschung in der linken Bildhälfte weist niedrige Strickler-Beiwerte auf, wohingegen die gegenüberliegende Stützmauer aufgrund ihrer glatteren Struktur einen höheren Wert aufweist.

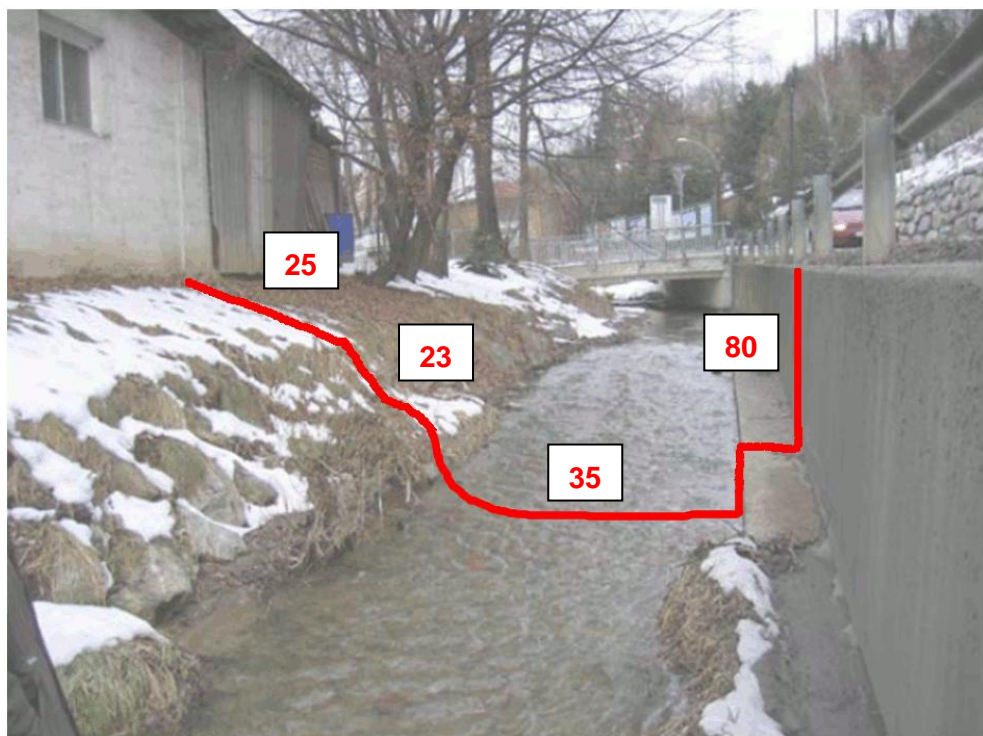


Abb. 43: Strickler-Beiwerte k_{St} in einem innerstädtischen Gerinne (Hintergrundfoto: [76])

Deutlich niedriger müssten Strickler-Beiwerte für den in Abb. 44 dargestellten Bereich des Weizbaches angenommen werden. Durch den starken Bewuchs und die durch grobe Steine geprägte Sohle besitzt dieser Gerinneabschnitt eine hohe Rauigkeit und entsprechend niedrigere Beiwerte.



Abb. 44: Strickler-Beiwerte in einem rauen Gerinne (Hintergrundfoto: [76])

Um den Einfluss verschiedener Parameter auf die Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler zu verdeutlichen, findet sich in Tabelle 7 ein Berechnungsbeispiel, bei dem verschiedene Werte variiert wurden. Als Vorgabe dient ein typisches Trapezgerinne mit einer Böschungsneigung von 4:5 und einer Sohlbreite von 2,0 m (Vgl. Abb. 45).

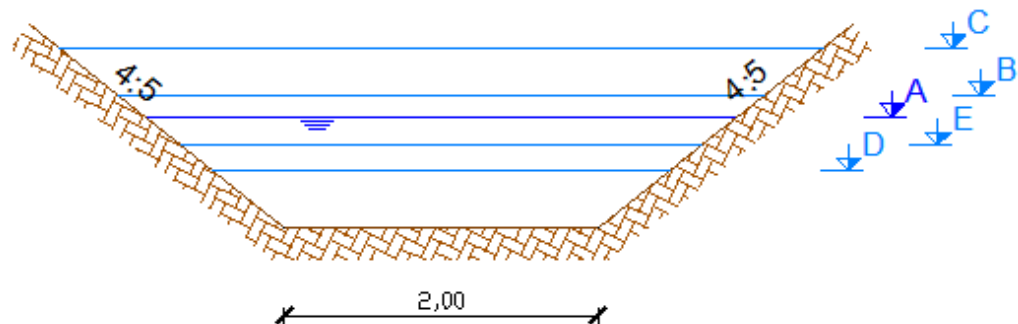


Abb. 45: Trapezprofil mit eingetragenen Berechnungsergebnissen aus Tabelle 7

Spalte A dient als Vergleichsquerschnitt, während in den weiteren Spalten die jeweils geänderten Werte hervorgehoben sind. So ist in Spalte B beispielsweise der Einfluss einer höheren Rauigkeit und eines dadurch niedrigeren Strickler-Beiwertes ersichtlich. In Spalte D reduziert sich die Abflusstiefe durch eine Verringerung des Durchflusses Q. Einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis hat auch eine Verringerung des Gefälles I (Spalte C). Die errechneten Abflusstiefen t können auch Abb. 45 entnommen werden.

Tabelle 7: Beispielhafte Gerinneberechnungen

| | A | B | C | D | E |
|-------------------------|-------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| Q [m ³ /s] | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 5,00 | 20,00 |
| I [m/m] | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |
| m [-] | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| b [m] | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| k _{st} [-] | 22 | 18 | 22 | 22 | 60 |
| | | | | | |
| R [m ^{1/3} /s] | 1,47 | 1,40 | 1,27 | 1,76 | 1,60 |
| | | | | | |
| t [m] | 0,71 | 0,85 | 1,15 | 0,37 | 0,53 |

R bezeichnet den hydraulischen Radius. Er setzt sich zusammen aus der – bereits aus der Kontinuitätsbedingung bekannten – durchflossenen Fläche A und dem benetzten Umfang. Der benetzte Umfang ist jene Strecke, die das Wasser in einem Querschnitt „berührt“.

$$R = \frac{A}{U}$$

Den Zusammenhang zwischen durchflossener Fläche A und benetztem Umfang U verdeutlicht Abb. 46. Rechts neben dem zugrunde gelegten Gerinne sind die Funktionen von U und A in Abhängigkeit der Abflusstiefe t dargestellt. Erkennbar ist dabei, dass sich die Fläche A mit steigender Abflusstiefe t rascher vergrößert als der Umfang U.

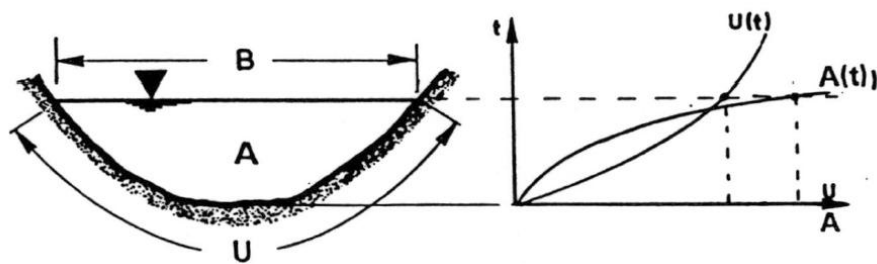


Abb. 46: Hydraulischer Radius $R = A / U$ [89]

Dadurch wird im vorliegenden Beispiel der hydraulische Radius R mit steigender Abflusstiefe größer. Der hydraulische Radius, und mit ihm die Geschwindigkeit, steigt also, wenn gleichzeitig eine große Fläche durchflossen wird und dabei allerdings nur wenig direkter Kontakt zur Umgebung besteht. Man spricht in diesem Zusammenhang von hydraulisch günstigen Querschnitten. Der Kreis stellt dabei das günstigste Profil dar, da bei ihm der benetzte Umfang U zur Fläche A gering ist.

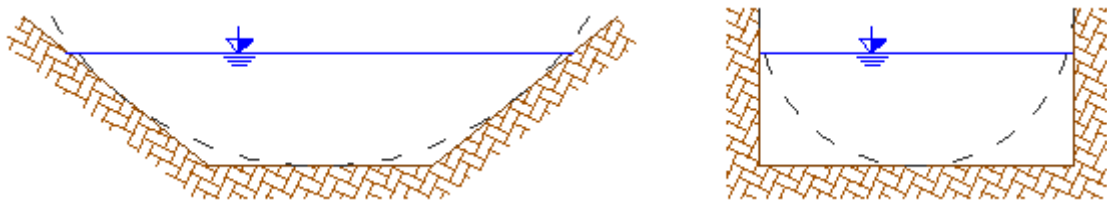


Abb. 47: Vergleich zwischen Trapez- und Kastenquerschnitt

Entsprechend kann für offene Gerinne festgehalten werden, dass jene Querschnitte besonders geeignet sind, welchen ein Kreis möglichst gut eingeschrieben werden kann. Beim Vergleich zwischen einem Trapez- und einem Rechteckquerschnitt (Vgl. Abb. 47) ist demnach ersichtlich, dass das Trapezgerinne hydraulisch günstiger ist. Beispiele für hydraulische Radien können auch der zuvor behandelten Tabelle 7 entnommen werden.

Der letzte wichtige und zugleich leicht nachvollziehbare Einflussfaktor ist das Gefälle I . Wie auch in der Anwendung im Haushalt beispielsweise beim Ausgießen einer Flüssigkeit aus einem Gefäß leicht ersichtlich, führt ein höheres Gefälle zu einer höheren Fließgeschwindigkeit.

Gepaart mit der Kontinuitätsbedingung folgt daraus, dass diese Parameter gleichzeitig auch für den maximal möglichen Durchfluss in einem bestehenden Gerinne eine große Rolle spielen.

3.5.4. Energieverluste

Eine Besonderheit in der Betrachtung des Abflussverhaltens eines Gerinnes stellen Einengungen wie Brücken, Pfeiler oder Durchlässe dar. Auch Bäume oder andere natürliche Hindernisse beeinträchtigen den Abfluss. Abb. 53 zeigt einen hydraulisch ungünstigen Durchlasseinlauf am Annabach in Graz.



Abb. 48: Hydraulisch ungünstiger Durchlasseinlauf [54]

Je nach Art des umströmten Hindernisses werden dabei unterschiedlich hohe Energieverluste erzeugt. Um derartige Phänomene zu betrachten steht im Wasserbau die Gleichung von Bernoulli zur Verfügung:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = C$$

Ähnlich der Kontinuitätsbedingung ist auch das Ergebnis der Bernoulli-Gleichung eine Konstante (C).

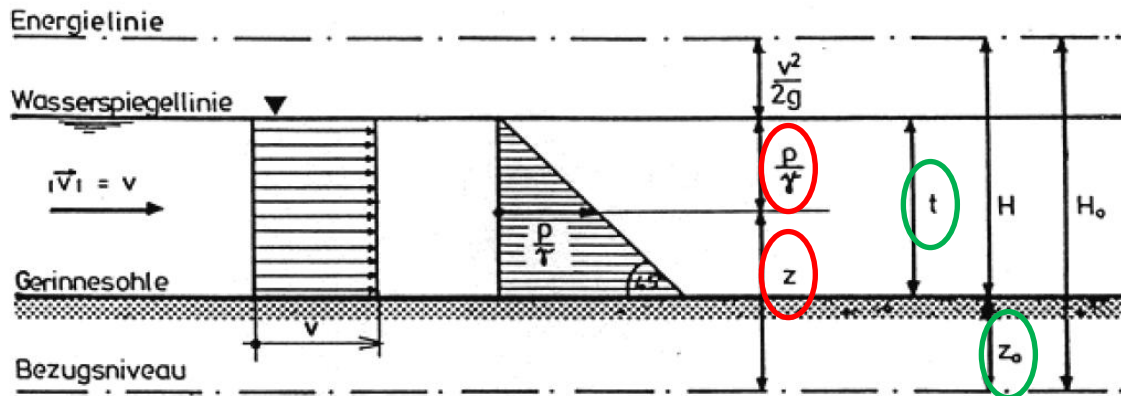


Abb. 49: Gleichung von Bernoulli - graphische Zusammenhänge [89]

Für die Wasserspiegelberechnung in einem offenen Gerinne ergibt sich $z + \frac{p}{\gamma}$ gemäß Abb. 49 zu $z_0 + t$, wobei z_0 die Sohlhöhe und t die Abflusstiefe bezeichnet. Daraus folgt die Gleichung

$$z_0 + t + \frac{v^2}{2g} = C$$

Die Summe aus $\frac{v^2}{2g}$ und t wird als Energiehöhe bezeichnet. Die Abflusstiefe t ergibt sich aus einer Fließformel, wie beispielsweise der Formel nach Gauckler-Manning-Strickler (Vgl. Kapitel 3.5.3). Um nun die Verluste ζ (in Abb. 50 als Wert ζ_e dargestellt) in oben genannte Gleichung mit einbeziehen zu können, sind diese mit dem Faktor $\frac{v^2}{2g}$ zu multiplizieren und mit der ursprünglichen Gleichung zu addieren.

$$z_0 + t + \frac{v^2}{2g} + \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} = C$$

Daraus ergibt sich, dass Energieverluste abhängig von der vorherrschenden Fließgeschwindigkeit sind. Genauer betrachtet steigen die Energieverluste mit steigender Geschwindigkeit sogar quadratisch an. Aus Abb. 50 (S. 70) folgt, dass eine entsprechende Ausgestaltung beispielsweise eines Durchlasses die Einlaufverluste um das bis zu 10-fache reduzieren kann.

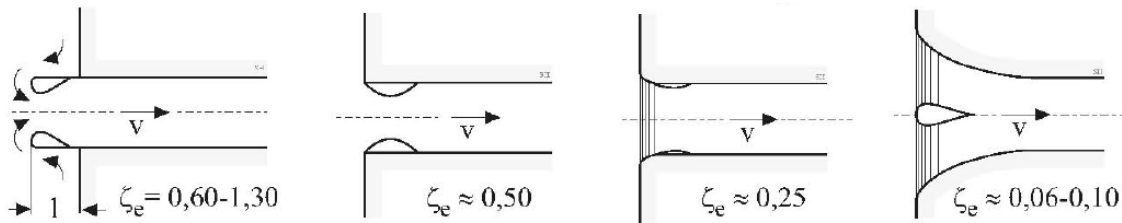


Abb. 50: Einlaufverluste verschiedener Rohreinläufe [48]

3.5.5. Verklausungen

Eine der größten Gefahren im Falle eines Hochwassers stellen Verklausungen dar. Eine Verklausung entsteht meist durch ein Hindernis im Abflussquerschnitt, an welchem sich Treibholz oder andere Gegenstände festhängen. Mit jedem festhängenden Gegenstand wird der Abflussquerschnitt an diesem Punkt weiter eingengt und der Restquerschnitt wird für weiteres mitgeführtes Material immer weniger durchlässig. Ohne fremdes Eingreifen kann sich eine so entstandene Verklausung nur schwer wieder von selbst lösen – die Folge ist eine Art Kettenreaktion bis zu jenem Punkt, an welchem der abzuführende Hochwasserabfluss die Verklausung nicht mehr passieren kann. Die Folge ist eine Ausuferung im betroffenen Bereich.

Verklausungen treten häufig bei Kunstbauten wie Durchlässen und kleineren Brückenbauwerken auf. Besonders wichtig ist, dass auf derartige Gefahren zwar seitens des Wasserbau-Planers qualitativ hingewiesen werden kann, wann und wo es allerdings zu einem tatsächlichen derartigen Fall kommt kann schwer vorhergesagt werden.

Vor allem bei größeren Bauwerken wie beispielsweise Rückhaltebecken wird mit einem sogenannten Verklausungsschutz auf dieses Problem reagiert. Durch einen Stahlrechen werden jene vom Hochwasser mitgeführten Festkörper, welche die zu schützende Engstelle nicht passieren können, abgefangen.



Abb. 51: Massive Verklauung eines Straßendurchlasses [26]

In Abb. 52 ist der Verklauungsschutz eines Rückhaltebeckens am Gabriachbach in Graz dargestellt. Kommt es zu einem Hochwasserereignis bei dem Treibholz mitgeführt wird, wird dieses vom Rechen zurückgehalten wodurch der Abflussquerschnitt des dahinterliegenden Grundablasses frei bleibt.

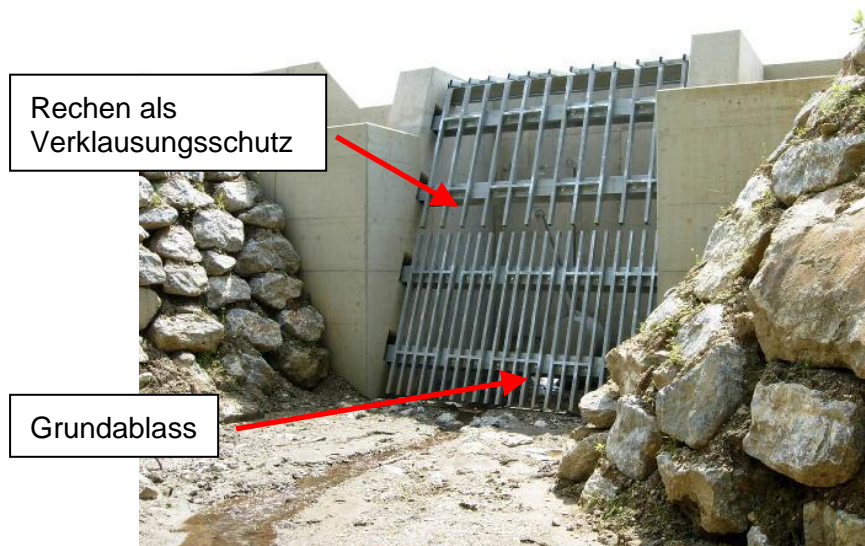


Abb. 52: Verklauungsschutz am Grundablass eines Rückhaltebeckens am Gabriachbach [46]

Ebenso durch Verklauungen gefährdet sind mechanische Bauwerke wie Schütze oder Schleusen. Durch den Anprall oder das Verfangen von Treibgut kann deren Funktionalität eingeschränkt werden. Natürlich kann es auch aus anderen Gründen, beispielsweise mitten in einem Bachlauf zu einer Verklauung kommen, wenn sich Treibholz zufällig an der Böschung verhängt

und so den Abflussquerschnitt blockiert. Kunstbauten wie Brücken oder Durchlässe, insbesondere zu gering bemessene, stellen allerdings den größten diesbezüglichen Risikofaktor dar.

3.5.6. Geschiebe

Als Geschiebe werden Feststoffe bezeichnet, welche entlang der Sohle eines Gewässers transportiert werden. Dabei kann es sich beispielsweise um Sande oder Kiese handeln. Der Geschiebetransport findet ständig statt, bei einem Hochwasserereignis allerdings deutlich intensiver als bei mittlerem Wasserstand. Bei Gebirgsbächen oder unter bestimmten Untergrundvoraussetzungen im Einzugsgebiet eines Gerinnes können diese gewaltige Ausmaße annehmen.

In Abb. 53 ist ein Beispiel einer Ablagerung unter einer Brücke am Weizbach dargestellt. Neben der Ablagerung wird der Abflussquerschnitt zusätzlich durch eine Rohrleitung eingeengt.



Abb. 53: Rohrleitung und Geschiebeanlandung im Abflussquerschnitt unter einer Brücke [76]

Kommt es nun im Unterlauf eines Baches zu einer Reduktion des Gefälles und damit zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit sowie der Schleppspannungen, landet sich dieses Geschiebe dort an. Dadurch kann der

Abflussquerschnitt eingeengt und das nachfließende Wasser aus dem Bachbett gedrängt werden. Dieser Vorgang kann rasch im Zuge eines Hochwasserereignisses auftreten oder auch über eine längere Zeitspanne, durch langsame Ablagerungen und einer damit verbundenen Erhöhung der Bachsohle.

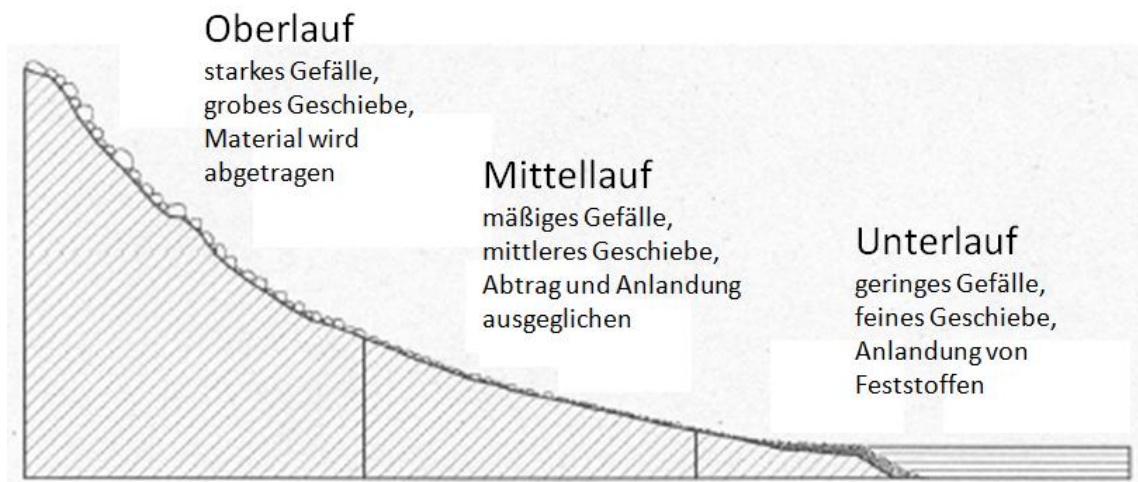


Abb. 54: Typische Gerinneigenschaften (Hintergrundbild [89])

Durch den Eingriff des Menschen werden oft Parameter wie das Sohlgefälle oder die Gerinnerauigkeit verändert, worauf ein Bachlauf in der Regel mit derartigen Anlandungen reagiert. So können gerade erst fertiggestellte flußbauliche Maßnahmen innerhalb kürzester Zeit verlanden, wodurch ihre Funktionalität in den meisten Fällen eingeschränkt wird.

3.5.7. Gleit- und Prallufer

Als Prallufer wird im Wasserbau jenes Ufer eines Gerinnes bezeichnet, welches an einer Krümmungsaußenseite zu liegen kommt. Das Gleitufer bezeichnet die innenliegende Uferseite. Bedeutsam ist diese Unterscheidung, da beide Ufer mit unterschiedlichen Eigenschaften ausgestattet sind, die im Hochwasserfall von Bedeutung sein können.

Aufgrund der Trägheit des Wassers kommt es im Außenbogen einer Krümmung in einem Bachlauf zu Geschwindigkeitsüberlagerungen und dadurch zu einer sogenannten Spiralströmung. Diese Spiralströmung bedingt in weiterer Folge das Fortschreiten einer Ufererosion sowie die Bildung eines Kolkes am

Krümmungsaußenbogen. Am Gleitufer hingegen werden die Schubspannungen sowie die Fließgeschwindigkeiten reduziert, wodurch es dort zu Anlandungen kommt. Diese Phänomene finden auch bei niedriger Wasserführung statt, im Hochwasserfall erhöhen sich allerdings durch die höhere Wassermenge auch die auftretenden Kräfte.

Für die Einsatzkräfte bedeutet dies, dass auf die Sicherung der Prallufer deutlich mehr geachtet werden muss, als auf die Sicherung der Gleitufer. Dämme an Prallufern sind nach Möglichkeit zu verstärken, um die auftretenden Trägheitskräfte auffangen zu können. [88]

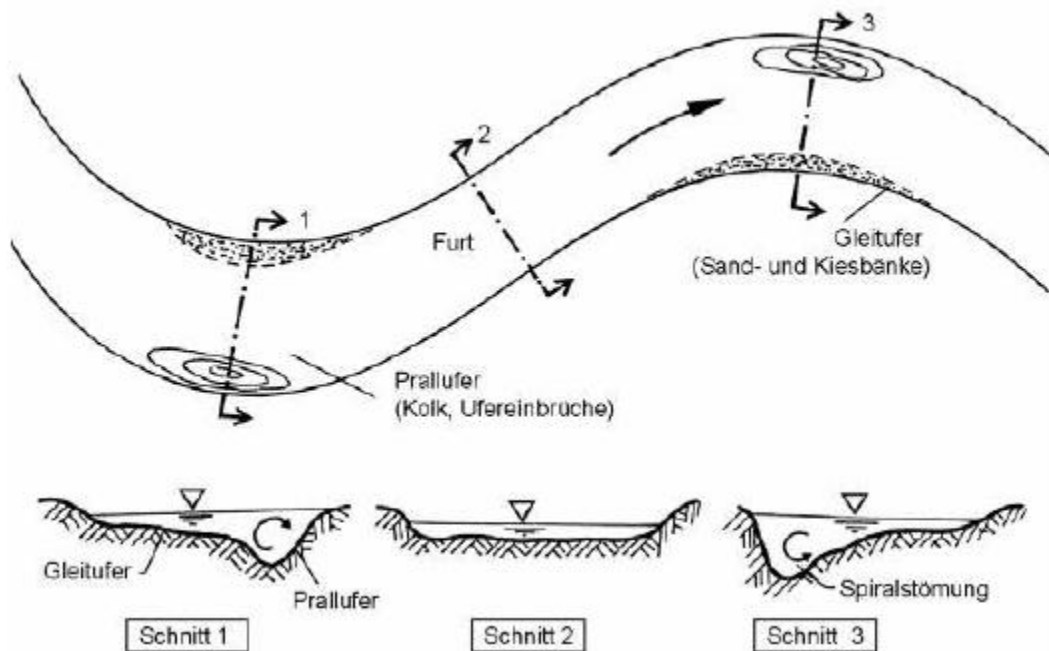


Abb. 55: Prall- und Gleitufer [88]

3.5.8. Welche Inhalte sind für den Katastrophenschutz relevant?

Die zuvor angeführten hydrodynamischen Grundlagen sollen auch Einsatzkräften zum besseren Verständnis der komplexen Vorgänge im Hochwasserfall dienen. Natürlich spielen im jeweiligen Anlassfall diverse Berechnungsmethoden keine große Rolle. Allerdings kann die Kenntnis zumindest der wichtigsten Einflussfaktoren eine gute Hilfestellung bieten.

Für die Einsatzkräfte im Hochwasserfall ist die abführbare Wassermenge von großer Bedeutung. Wird sie überschritten, kommt es unweigerlich zu Ausuferungen und in vielen Fällen auch zu Schäden. Wesentlich für die abführbare Wassermenge in einem Gerinne sind laut Kontinuitätsbedingung die Fließgeschwindigkeit v sowie der Abflussquerschnitt A . Letzterer, der Abflussquerschnitt, kann grundsätzlich nur durch Ausbaumaßnahmen verändert werden. Die Fließgeschwindigkeit ist allerdings von mehreren Faktoren abhängig, die sich aus der Formel nach Gauckler-Manning-Strickler ableiten. Erster Einflussfaktor ist hierbei die Rauigkeit des Gerinnes, die die Untergrundbeschaffenheit wiederspiegelt. So spielt für das Abflussverhalten beispielsweise der Uferbewuchs eine große Rolle. Die beiden weiteren Einflussfaktoren sind der hydraulische Radius, welcher sich aus der Gerinnegeometrie ableitet, sowie das Gefälle des Bachlaufes. Für beide Einflussfaktoren gilt, dass sie lediglich durch bauliche Maßnahmen verändert werden können. Ebenso spielen Energieverluste in jeglicher Form eine entscheidende Rolle. Insbesondere die Gestaltung von Durchführungen, Brücken oder sonstigen baulichen Elementen, können zu einer Verbesserung des Abflussverhaltens beitragen. Allgemein kann dabei festgehalten werden, dass sich Hindernisse jeder Art negativ auf das Abflussverhalten auswirken. Alle Hindernisse bergen allerdings eine zusätzliche Gefahr: Verklausungen dürfen auf keinen Fall unterschätzt werden. Wie vorab bereits ausführlich geschildert, können auch sie zu Ausuferungen führen, und das oft an unerwarteter Stelle.

3.5.9. Was leitet sich daraus für die Arbeit der Einsatzkräfte ab?

Viele der angesprochenen Einflussfaktoren können auch in „Friedenszeiten“ im Zuge einer Begehung erfasst werden. So könnte beispielsweise übermäßiger und dichter Bewuchs in einem Bachbett festgestellt werden. Wie bereits erwähnt stünde dieser Umstand für eine Erhöhung der Rauigkeit, ausgedrückt durch eine Verminderung des Strickler-Beiwertes k_{St} . Ein Beispiel dafür bietet Abb. 56. Dieses Foto entstand nach einem Hochwasserereignis am Mariatrosterbach. Die aufgetretene Wasserspiegellage im hochwasserführenden Gerinne ist an den Böschungen feststellbar und durch die beiden

blauen Markierungen angedeutet. Deutlich erkennbar ist der dichte Bewuchs im Abflussbereich.



Abb. 56: Bewuchs im unmittelbaren Hochwasserabflussbereich am Mariatrosterbach [60]

Anhand der oben erläuterten Zusammenhänge ist leicht zu erkennen, dass dies wiederum zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit v und in weiterer Folge zu einer Verringerung der abführbaren Wassermenge Q führen würde. Weiters wären auch größere Verlandungen (Vgl. Abb. 53, S. 72) zu erkennen, welche den Abflussquerschnitt verringern und letztlich ebenso denselben Effekt erzielen würden. Vor allem die Gefahr einer Verklausung ist in vielen Fällen auch vom Laien im Vorfeld festzustellen. Daraus leiten sich markante Punkte mit besonderem Gefahrenpotenzial ab. Erweitert werden diese Erkenntnisse im besten Fall noch durch Erfahrungen seitens der Einsatzkräfte oder auch der Anrainer. Alles zusammen bildet schlussendlich – zusätzlich zu Abflussuntersuchungen – ein wichtiges „Informations-Plus“ im Falle eines Hochwasserereignisses.

3.6. Bauliche Maßnahmen

Dem Wasserbau-Planer steht eine Reihe an Möglichkeiten zur Verfügung, das Abflussverhalten eines Baches positiv zu verändern. Letztlich können alle vorab erwähnten Parameter zu Gunsten einer Erhöhung des maximalen Durchflusses

adaptiert werden. Im folgenden Abschnitt sollen die wichtigsten baulichen Maßnahmen im Schutzwasserbau dargestellt und ihre Wirkungsweise erklärt werden.

3.6.1. Rückhaltebecken

Hochwasserrückhaltebecken stellen eine sehr effektive Maßnahme des Hochwasserschutzes dar. Einfach ausgedrückt funktionieren Rückhaltebecken ähnlich einem Trichter und stellen eine Drossel für den Hochwasserabfluss dar.

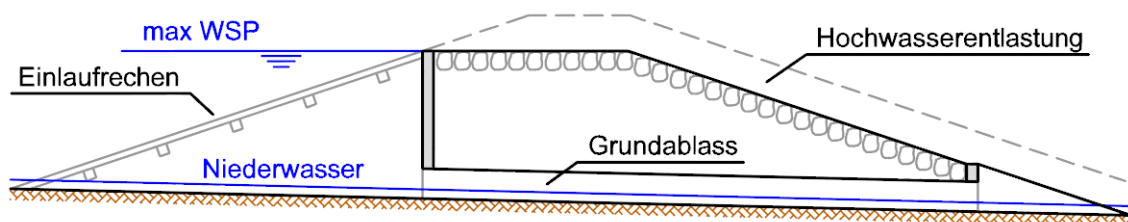


Abb. 57: Schnitt durch ein Rückhaltebecken (schematisch)

Das Prinzip dieser Schutzmaßnahme ist einfach: Mit einem künstlichen Hindernis – beispielsweise einem Damm – wird eine Engstelle an einem Gerinne geschaffen. Durch bauliche Maßnahmen ist es möglich, diese Engstelle auf einen bestimmten maximalen Durchfluss Q_{\max} auszulegen. Dies geschieht meist über den Grundablass, wie er in Abb. 57 erkennbar ist. Um Verklauungen zu vermeiden ist dieser im Beispiel in Abb. 57 mit einem Einlaufrechen geschützt. Im hier aufgezeigten Beispiel ist dieser überdies mit einer Schrägneigung ausgeführt, um ein Aufschwimmen von Treibgut zu ermöglichen. Der Grundablass kann weiters über ein Schütz verschließbar ausgeführt werden, um unter anderem nachträgliche Wartungsarbeiten zu erleichtern. Übersteigt der aktuelle Durchfluss $Q_{(t)}$ diese Ausbauwassermenge, kann überschüssiges Wasser nicht abfließen und wird vorerst zurückgehalten, wodurch der Wasserspiegel im Becken steigt. Erst wenn die zufließende Wassermenge $Q_{(t)}$ wieder geringer wird, als der maximale Durchfluss Q_{\max} , wird das zurückgehaltene Wasser wieder an das Gerinne abgegeben.



Abb. 58: Rückhaltebecken am Gabriachbach im Zuge eines Hochwasserereignisses im Juli 2009 [46] [3]

Abb. 58 zeigt ein Rückhaltebecken am Gabriachbach bei einem Hochwasserereignis am 18. Juli 2009. Der Grundablass gibt dabei die vorab definierte Wassermenge ab, im Vergleich dazu findet sich am rechten Bildrand ein Bild des Grundablasses im Normalbetrieb. Der zugehörige Aufstau hinter dem Sperrenbauwerk ist in Abb. 59 (S. 79) ersichtlich, wobei die blaue Markierung in etwa die maximale Stauhöhe, begrenzt durch die Hochwasserentlastung, darstellen soll.

Zusätzliche Sicherheit für ein Rückhaltebecken bietet der Hochwasserüberlauf. Für den Fall eines besonders starken Hochwasserereignisses, welches das Rückhaltevolumen des Beckens übersteigt, kommt es zu einer Überströmung des Sperrenbauwerkes.



Abb. 59: Teilgefülltes Hochwasserrückhaltebecken am Gabriachbach, Hochwasser im Juli 2009 [46]

Besonders Erddämme können bei einer unkontrollierten Überströmung Schaden nehmen, was bis zu einem vollständigen Versagen des Bauwerks führen kann. Dies könnte im schlimmsten Fall natürlich fatale Folgen für die Unterlieger haben. Durch die Berücksichtigung einer speziellen Hochwasserentlastung kann dieser „Überlastfall“ gezielt und schadlos abgeführt werden.

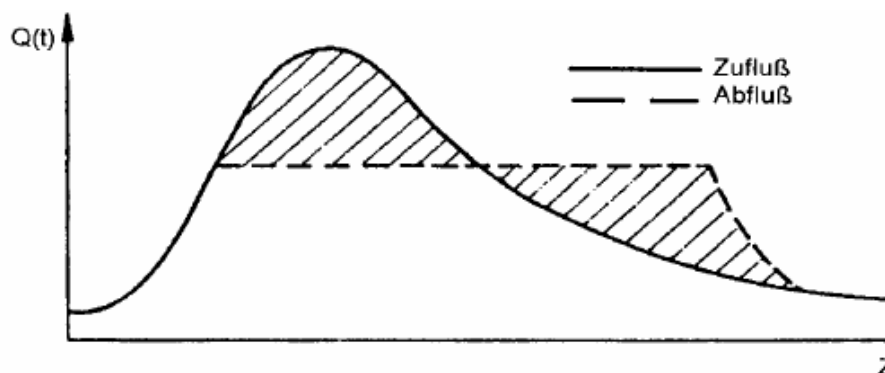


Abb. 60: Beeinflussung der Hochwasserwelle durch ein Rückhaltebecken [10]

Hydraulisch betrachtet ist es mit der Hilfe von Rückhaltebecken also möglich, die Hochwasserwelle zu „kappen“. Die gesamte Hochwasserfracht wird demnach auf einen längeren Zeitraum verteilt und dosiert abgeführt. Die maximal abzugebende Durchflussmenge wird dabei in der Regel so gewählt,

dass das unterhalb des Beckens liegende Gerinne diese gerade noch abführen kann. Insgesamt wird dadurch die Gefahr von Ausuferungen deutlich minimiert.

Einer hydraulischen Formulierung werden die hier vorhandenen Eingangsdaten in der sogenannten Speichergleichung zugeführt, wobei $S(t)$ den Speicherinhalt, $Q_Z(t)$ den Zufluss und $Q_A(t)$ den Abfluss widerspiegelt.

(Vgl. [88], [11], [10])

$$\frac{dS(t)}{dt} = Q_Z(t) - Q_A(t)$$

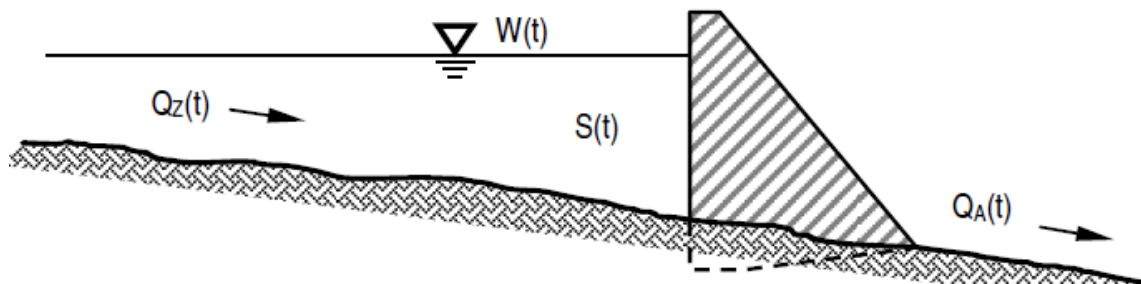


Abb. 61: Eingangsgrößen der Speichergleichung [88]

3.6.2. Linearmaßnahmen

Unter den Begriff Linearmaßnahmen fallen sämtliche Baumaßnahmen, die das Bachbett als solches verändern. So können beispielsweise Aufweitungen des Gerinnes über längere Strecken die Hochwasserabfuhr erleichtern. Ebenso zählen Mauern oder Dämme zu Linearmaßnahmen. Sie alle verfolgen meist das Ziel, den jeweiligen Abflussquerschnitt zu vergrößern. Alternativ oder auch parallel dazu verringern derartige Maßnahmen oft auch die Rauigkeit der einzelnen Oberflächen.



Abb. 62: Gerinneaufweitungen am Schöckelbach im Bereich Schöckelbachweg [47]

Die projektierten Linearmaßnahmen entlang des Schöckelbaches wurden bereits kurz nach ihrer Umsetzung durch ein Hochwasserereignis beansprucht. Abb. 62 zeigt den Baufortschritt am Schöckelbach im März 2009, Abb. 63 denselben Bereich wenige Meter weiter im Juli 2009 bei einem Hochwasserereignis, welches in etwa auf ein HQ 10 geschätzt werden kann.



Abb. 63: Ausgebaute Bereiche zeigen Wirkung [47]

Derselbe Bereich des Schöckelbaches vor Beginn der Bauarbeiten ist auf Seite 47 (Abb. 31, Abb. 32) bei einem Hochwasserereignis sowie bei Niederwasser abgebildet.

Die Regulierung von Bächen bestand in den vergangenen Jahrzehnten vielfach aus Begradigungen und sogenannten „harten Verbauungen“ wie Betonwänden und Pflasterungen. So finden sich heute vielfach Gerinne, die eher einem Abwasserkanal als einem natürlichen Bach gleichen.

Auch wenn diese Maßnahmen vielerorts ihren Zweck erfüllen, blieb dabei der Naturschutz oft auf der Strecke. Auch heute sind Sicherungen aus Beton oder Pflasterungen gelegentlich erforderlich, allerdings kommen bei der Sicherung von Böschungen und Einschnitten vermehrt naturnahe Baustoffe zum Einsatz. Neben schweren Wasserbausteinen finden sich auch Konstruktionen aus Holz. Entsprechende Maßnahmen zur Ufersicherung am Leonhardbach sind in Abb. 64 ersichtlich.



Abb. 64: Ufersanierungsarbeiten am Leonhardbach [85]

3.6.3. Schaffen von Retentionsraum

Die meisten Gewässer verfügten vor vielen Jahren noch über Retentionsräume rund um den Bachlauf. Dabei handelt es sich um Flächen, welche im Falle einer

höheren Wasserführung überflutet werden. Dadurch wurden, ähnlich wie bei einem Rückhaltebecken, große Wassermengen „zwischengespeichert“ und verzögert wieder dem Gerinne zurückgeführt. Durch Bachverbauungen, die Versiegelung von Flächen und Geländeanpassungen im Gerinnevorland stehen diese Flächen mittlerweile oft nicht mehr zur Verfügung. Heutzutage weiß man um die Effektivität und den Nutzen dieses Retentionsraumes, weshalb die Kommunen heute im Zuge der Raumplanung steuernd eingreifen. Anhand von Aufweitungungen oder – an größeren Flüssen – der Rückgewinnung von Auwäldern wird heute versucht, diese ehemals „natürlichen Sicherheitsreserven“ wieder zu aktivieren.

3.6.4. Naturschutz bei der Hochwasserbekämpfung

Bei der Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen kommt dem Naturschutz hoher Stellenwert zu. Aus den in Kapitel 3.5.3 angeführten Strickler-Beiwerten ist ersichtlich, dass ein reines Betongerinne eine deutlich höhere Wassermenge abführen kann als ein natürlicher Bachlauf. Allerdings bedeutet der damit verbundene massive Eingriff in die Natur auch die Zerstörung des Lebensraums einer Vielzahl an Organismen im Gewässer. Heutzutage wird deshalb auf naturnahen Wasserbau besonderer Wert gelegt.



Abb. 65: Ausbildung von Prall- und Gleitufer [72]

Um ein Gewässer naturnah zu gestalten reicht allerdings die Verwendung naturnaher Baustoffe alleine nicht aus. Vielmehr sollte es Ziel sein, eine

Struktur zu schaffen, die der ursprünglichen des Gewässers ähnelt. Daraus ergeben sich beispielsweise Anforderungen an die Fließgeschwindigkeit, die Ufergestaltung oder die Möglichkeit der flussmorphologischen Entwicklung wie beispielsweise die Ausbildung natürlicher Prall- und Gleitufer.

Dies erfordert vor allem genügend Platz, welcher in vielen Fällen nicht gegeben ist oder gar im Gegensatz zu den Interessen aus der Sicherung der menschlichen Lebensräume steht. Aus diesem Interessenskonflikt ergibt sich bereits die Erfordernis einer auf das jeweilige Projektgebiet maßgeschneiderten „Kompromisslösung“. Im Zuge der Erstellung des Sachprogramms Grazer Bäche wurden die Ansprüche an eine naturnahe Projektierung insbesondere im Projektteil Freiraumplanung berücksichtigt [36].

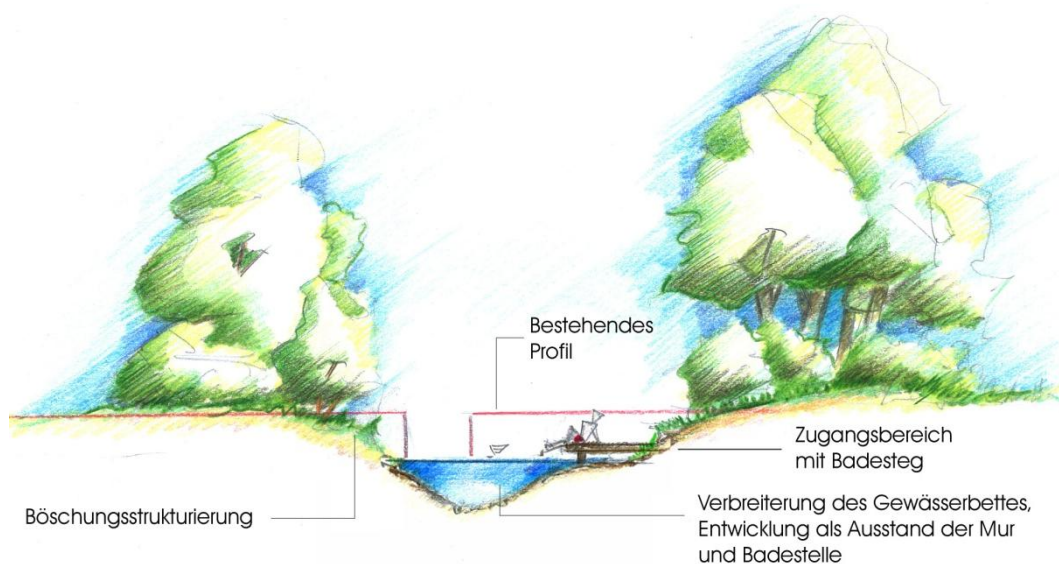


Abb. 66: Gestaltungsprofil Bereich Mündung Aubach [36]

Dabei entstanden verschiedene Vorschläge zur Aufwertung der Grazer Gewässer, darunter Aufweitungsmaßnahmen und adäquate Bepflanzungen, welche sowohl für aquatische Organismen als auch für Anrainer einen neuen und aufgewerteten Lebensraum bieten können. In Abb. 66 ist neben der ausgearbeiteten Maßnahme auch in rot das bestehende, hart verbaute Profil zu erkennen. Dass es sich hierbei um eine Aufwertung des betroffenen Baches – im vorliegenden Fall der Mündung des Aubaches – handelt, ist offensichtlich.

3.7. Schütze nur Schützenswertes!

Retentionsraum in jeglicher Form sollte seitens der Einsatzkräfte genutzt werden. Aus den vorangegangenen Ausführungen geht hervor, dass Ausuferungen ein völlig natürlicher Vorgang sind, welcher in weiterer Folge zu einer Entschärfung der Abflusssituation beiträgt. Das Verhindern von Ausuferungen entlang des gesamten Bachbettes würde die Hochwassersituation demnach nur verschärfen. Überall dort, wo durch eine Ausuferung keine (ernsthaften) Schäden entstehen können, sollte auf diese natürliche Form der Retention zurückgegriffen werden.

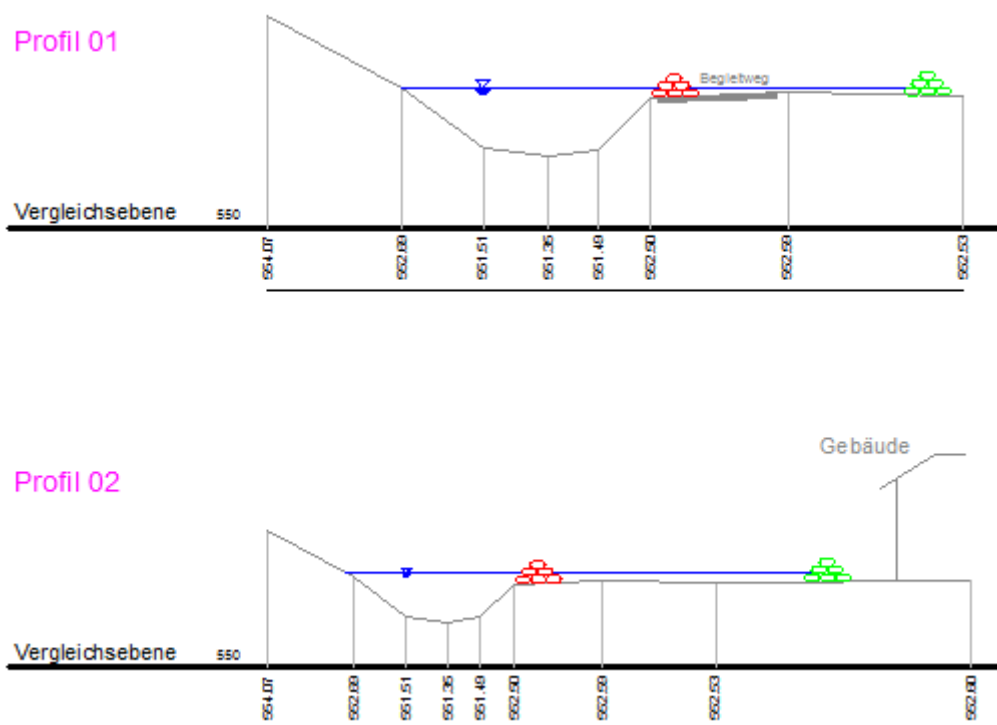


Abb. 67: Nutzen von vorhandenen Flächen

Dieser Grundsatz sollte in der Wahl eines geeigneten Standplatzes für einen Sandsackwall unbedingt berücksichtigt werden. So könnte sich beispielsweise die Frage stellen, ob ein Begleitweg unbedingt geschützt werden muss, oder ein Sandsackwall auch erst einige Meter nach dem Begleitweg aufgestellt werden kann. So könnte die Fläche des Weges zusätzlich als Abflussquerschnitt genutzt werden. Natürlich werden derartige Flächen nicht

immer zur Verfügung stehen. Trotzdem sollte auf den Grundsatz „Schütze nur Schützenswertes!“ Rücksicht genommen werden.

3.8. Ableitungen für die Praxis

Verklausungen spielen wie bereits mehrfach erwähnt eine bedeutende Rolle im Hochwassereinsatz. Ebenso wurde auf die Möglichkeit, potentielle Gefahrenstellen für Verklausungen im Vorfeld zu erkennen und festzuhalten, hingewiesen. Im Hochwassereinsatz sollte auf diese Aufzeichnungen zurückgegriffen werden. Auch wenn im Hochwasserfall höchst wahrscheinlich kein Personal zur Kontrolle all dieser Gefahrenstellen zur Verfügung steht, sollten die Einsatzkräfte durch eine vorangegangene Sensibilisierung eine sich anbahnende Verklausung zumindest erkennen und als potentielle Gefahr einschätzen können. Besteht die Möglichkeit, sollten Maßnahmen zur Räumung des betroffenen Einlaufes, Brückenpfeilers, etc. eingeleitet werden. Dies sollte aber immer unter höchsten Sicherheitsvorkehrungen für das eingesetzte Personal passieren.

Insbesondere ist bei der Umsetzung von Maßnahmen darauf zu achten, dass durch übermäßiges Eindämmen von Überflutungen nicht Unterlieger zu Schaden kommen. Werden Schutzdämme an Stellen errichtet, wo es ansonsten zu Ausuferungen kommen würde, kann sich dadurch das Abflussverhalten weiter bachabwärts verschärfen.

4. Konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der Informationsweitergabe

4.1. Auswertung der Abflussuntersuchungen

Die Auswertung von Abflussuntersuchungen basiert in der Regel auf einem bestimmten Bemessungsereignis. Das heißt, dass ein Ergebnis einer solchen Untersuchung immer nur für eine bestimmte Durchflussmenge richtig ist. In der Regel bedient man sich deshalb festgelegter Jährlichkeiten, um zumindest zwei Hochwasserereignisse eines Gerinnes näher auswerten zu können. Abb. 68

zeigt eine vor allem in der Raumplanung übliche Darstellung der Überflutungsflächen des HQ30 sowie des HQ100.

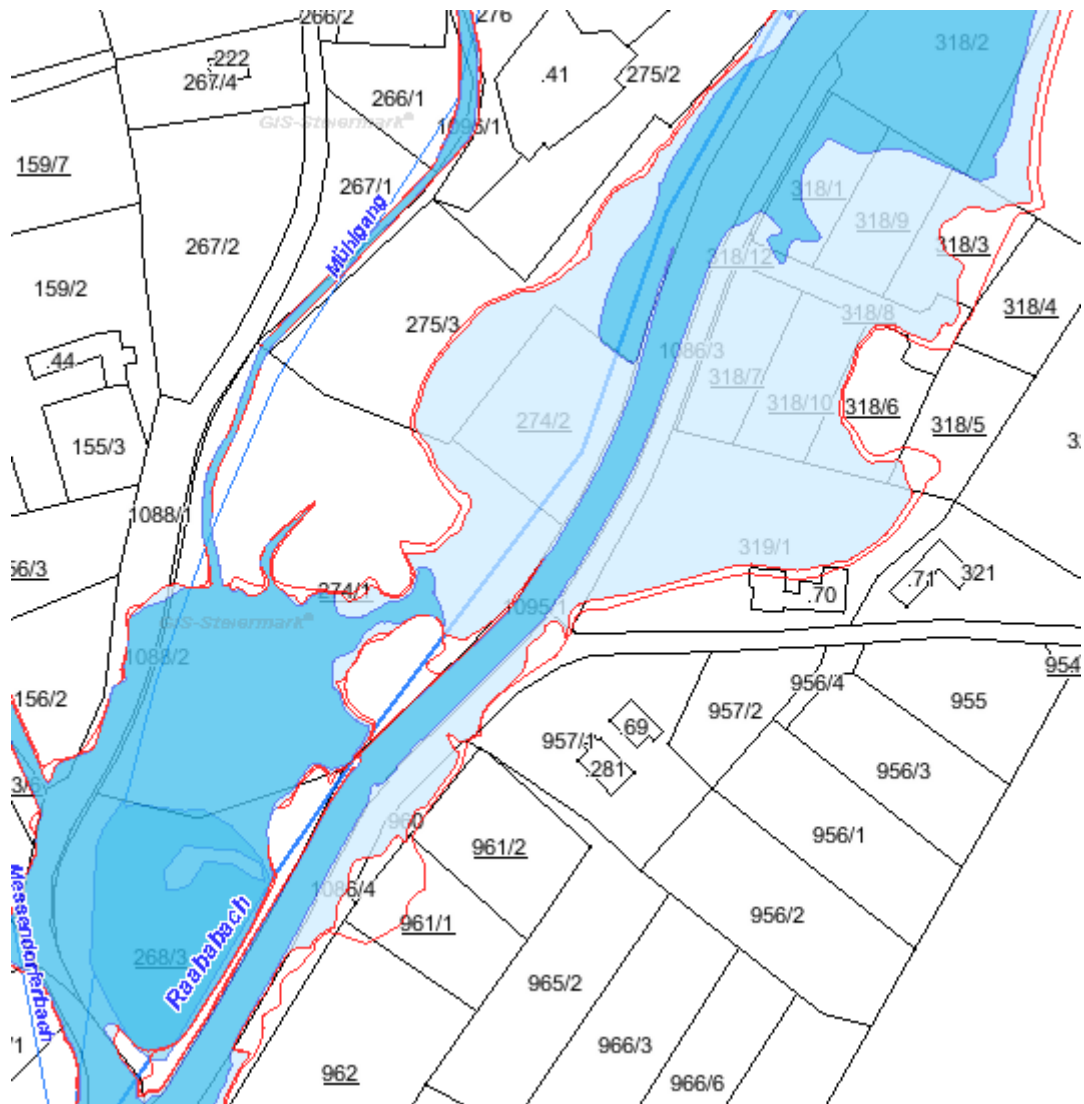


Abb. 68: Überflutungsflächen des HQ30 sowie des HQ100 am Raababach [GIS Steiermark]

In der vorliegenden Form könnten die Einsatzkräfte aus der Darstellung herauslesen, an welchen Stellen dieses Kartenausschnittes es zu Ausuferungen kommen wird. Nicht zu vergessen ist dabei allerdings, dass es sich bei der vorliegenden Darstellung nur um jene des HQ30 sowie des HQ100 handelt. Sollen vorbereitende Maßnahmen getroffen werden, müssen alle angeführten Bereiche gesichert werden. Handelt es sich bei dem Hochwasserereignis tatsächlich aber nur um ein solches mit einer Wiederkehrdauer von 20 Jahren, waren unter Umständen viele dieser Arbeiten nicht notwendig.

Bei der Betrachtung eines gerade stattfindenden Hochwasserereignisses an Bächen oder kleineren Gerinnen liegen oftmals keine Informationen über den aktuellen Durchfluss oder dessen Entwicklung über die nächsten Minuten und Stunden vor.

4.1.1. Ein fiktives Szenario zur Erläuterung

Es soll in einem ersten Schritt davon ausgegangen werden, dass der Durchfluss am betroffenen Gerinne bekannt ist. Ebenso sei vorausgesetzt, dass ein fertiges, digitales Berechnungsmodell für dieses Gerinne bereitsteht und die benötigte Zeit für eine Berechnung mit einem bestimmten Durchfluss sehr gering ist. Unter diesen Voraussetzungen könnte die aktuelle tatsächlich vorhandene Durchflussmenge in das Berechnungsprogramm eingegeben und berechnet werden. Das Ergebnis wäre ein realitätsnahes Bild der Überflutungen im Bereich des Gerinnes. Die Überflutungsflächen könnten auf „Lageplan 1“ übertragen und ausgefertigt werden. In einem weiteren Schritt kann – da der weitere Verlauf des Durchflusses als bekannt angenommen wurde – der Durchfluss in z.B. 30 Minuten im Modell berechnet werden. Das Ergebnis wären nun jene Überflutungsflächen, welche in rund einer halben Stunde zu erwarten sind. Ebenso wie die ersten Flächen werden nun auch diese ausgefertigt und liegen als „Lageplan 3“ vor.

Vergleicht man nun diese beiden Lagepläne ergeben sich mit hoher Wahrscheinlichkeit Unterschiede in den Überflutungsflächen. Subtrahiert man nun diese Flächen auf Lageplan 1 von denen des Lageplans 3, erhält man genau jene Flächen, auf welchen innerhalb der nächsten halben Stunde mit Überflutungen zu rechnen ist.

Durch eine zusätzliche Berechnung kann das nun vorliegende Ergebnis weiter diskretisiert werden. Berechnet werden als nächstes die Überflutungsflächen für den Durchfluss, wie er in 15 Minuten vorhanden sein wird. Dieses Ergebnis liegt somit genau zwischen den beiden ersten Berechnungen. Die Darstellung erfolgt auf „Lageplan 2“. Die zuvor durchgeführte Subtraktion ändert sich nun: Dargestellt wird immer die Differenz der Überflutungsflächen zweier

nachfolgender Lagepläne. Abb. 69 zeigt schematisch die errechneten Überflutungsflächen für einen kleinen Bereich eines fiktiven Bachlaufes.

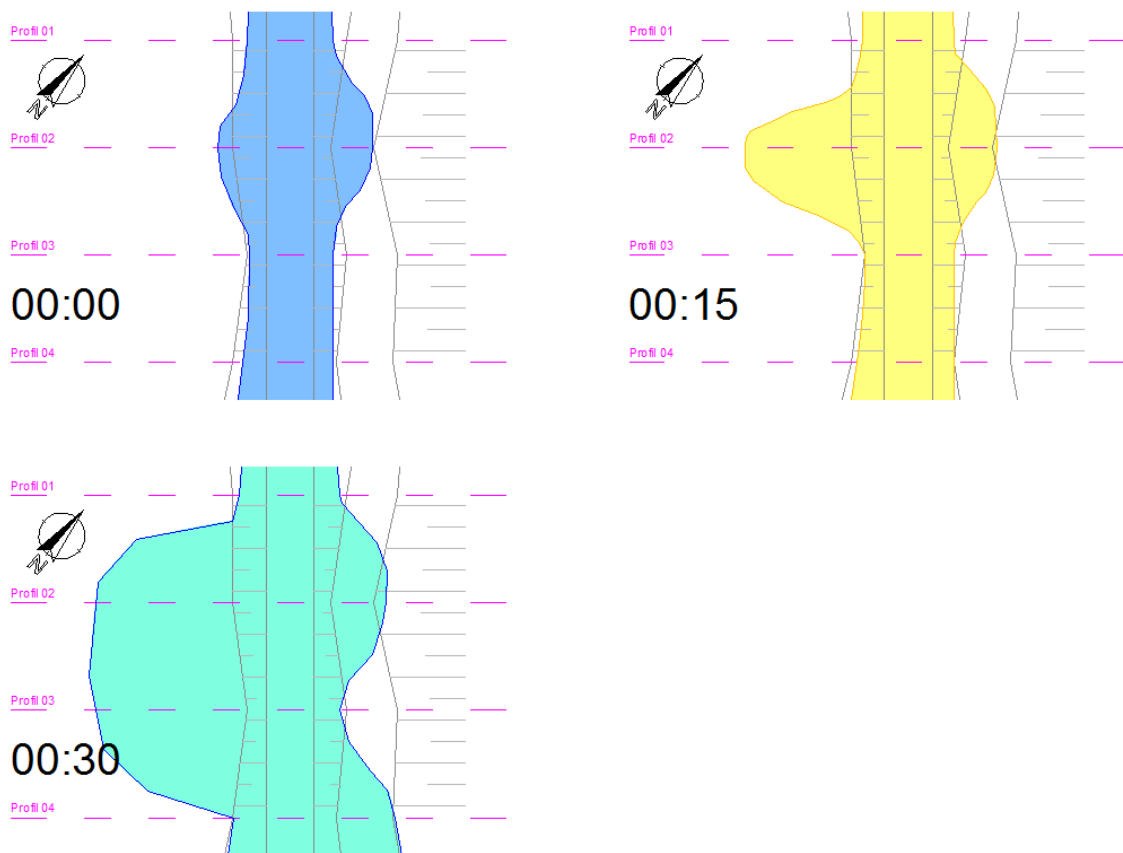


Abb. 69: Überflutungsflächen bei 00:00 (blau), 00:15 (gelb) und 00:30 (cyan)

Die nun erneut durchgeführten Subtraktionen liefern als Ergebnis zwei Lagepläne, welche die Flächenänderung über einen bestimmten Zeitraum darstellen. Abb. 70 zeigt die Änderung in der Zeit zwischen 00:00 und 00:15. Deutlich ist – als rot schraffierte Fläche ausgewiesen – eine Erweiterung der Überflutungsflächen in Richtung Süd-West ersichtlich.

Abb. 71 zeigt den zweiten betrachteten Zeitabschnitt zwischen 00:15 und 00:30, in welchem eine massive Ausbreitung in Richtung Süd-West und ebenso eine Ausweitung in östlicher Richtung angezeigt wird.

Unter den zuvor getätigten Annahmen erlaubt es diese Form der Darstellung, die Entwicklung der Überflutungsflächen für bestimmte Zeitabschnitte sichtbar zu machen.

00:00 - 00:15



Abb. 70: Subtraktion der Überflutungsflächen zwischen 00:00 und 00:15

00:15 - 00:30



Abb. 71: Subtraktion der Überflutungsflächen zwischen 00:15 und 00:30

Der Nutzer dieser Plandarstellung kann somit den weiteren Verlauf des Hochwassers „vorhersehen“. So können Entscheidungen zum Setzen gezielter

Maßnahmen einfacher getroffen werden. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, dass für das Lesen der Plandarstellung nur eine kurze Einschulung nötig ist.

4.1.2. Rückführung auf die tatsächlichen Randbedingungen

Die zuvor getätigten Annahmen entsprechen allerdings in keiner Weise den im Anlassfall tatsächlich zur Verfügung stehenden Daten. Realistisch ist viel eher, dass wie bereits erwähnt weder Informationen über den aktuellen Durchfluss und den weiteren Verlauf zur Verfügung stehen. Ebenso ist eine Berechnung mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden. Dazu kommt, dass die Verwendung eines komplexen Berechnungsprogramms in Hinblick auf Ausfallsicherheit, Bedienerfreundlichkeit und Verlässlichkeit für die Anwendung im Katastrophenfall kaum bis gar nicht geeignet ist. Eine Lösung für dieses Problem könnte sich wie folgt darstellen:

Vorbeugend sollten für ein Gerinne durch mehrfache Berechnung Überflutungsflächen für möglichst viele verschiedene Durchflussmengen ermittelt werden. Diese einzelnen Flächen können in ein grafisches Informationssystem (GIS) implementiert werden. Dies wird für Raumplanungszwecke ohnehin häufig durchgeführt, allerdings meist nur jene des HQ30 und des HQ100. Stehen nun mehrere dieser Überflutungsflächen mit Bezug zur Durchflussmenge zur Verfügung, bedürfte es lediglich einer zusätzlichen Steuerfunktion auf der entsprechenden GIS-Plattform. Dadurch wären sämtliche Überflutungsflächen unabhängig eines Berechnungsprogrammes auf einfache Weise zugänglich. Die zuvor beschriebene Methode der Subtraktion der Überflutungsflächen könnte ebenso direkt im jeweiligen GIS-System implementiert werden. Ein derartiges System existiert in Graz bereits mit den Grazer Abwehrkarten. Die Vorteile liegen klar auf der Hand: Durch die vektorbasierte Darstellung können einzelne Abschnitte beliebig skaliert dargestellt und durch umfangreiche Layerstrukturen einzeln ausgewertete Anschlaglinie getrennt betrachtet werden. Zusätzlich ist eine einfache zu bedienende Benutzeroberfläche meist schon gegeben. Auch ohne umfangreiche Änderungen am GIS-System könnte zumindest eine Darstellung ähnlich jener in Abb. 72 angezeigt werden.

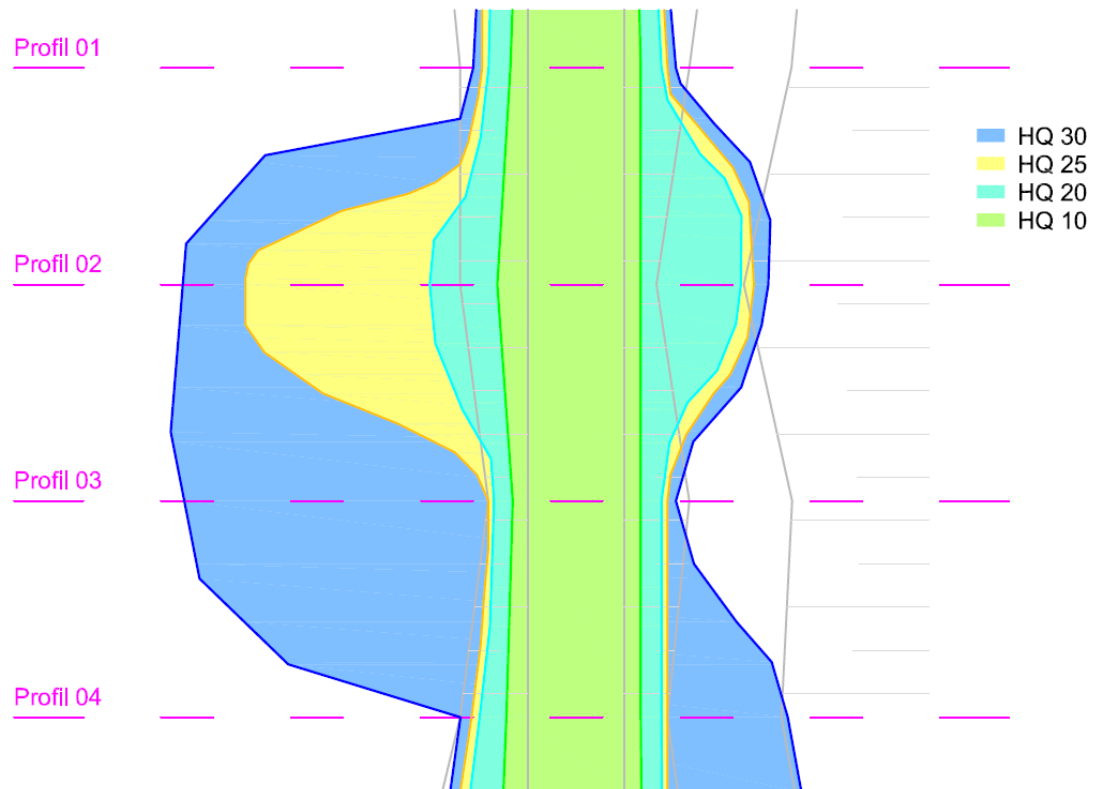


Abb. 72: Darstellung mehrerer Hochwasseranschlaglinien durch Diskretisierung (eigene Darstellung)

Gut zu erkennen ist durch die genauere Auswertung, dass einige Bereiche tatsächlich erst im Zuge des 30-jährlichen Hochwassers überflutet werden. Daraus ergibt sich eine klare Prioritätenreihung bei der Absicherung der einzelnen Abschnitte: Das HQ10 (grün) kann noch ohne Ausuferungen abgeführt werden. Steigt der Wasserspiegel weiter an, kommt es im Zuge des HQ20 (cyan) zu den ersten Ausuferungen im nord-östlichen Bereich. Ein weiterer Anstieg des Wasserspiegels bis zum HQ25 (gelb) würde in erster Linie die Bereiche im Süd-Westen, rund um das Profil 02 beeinträchtigen, etc.

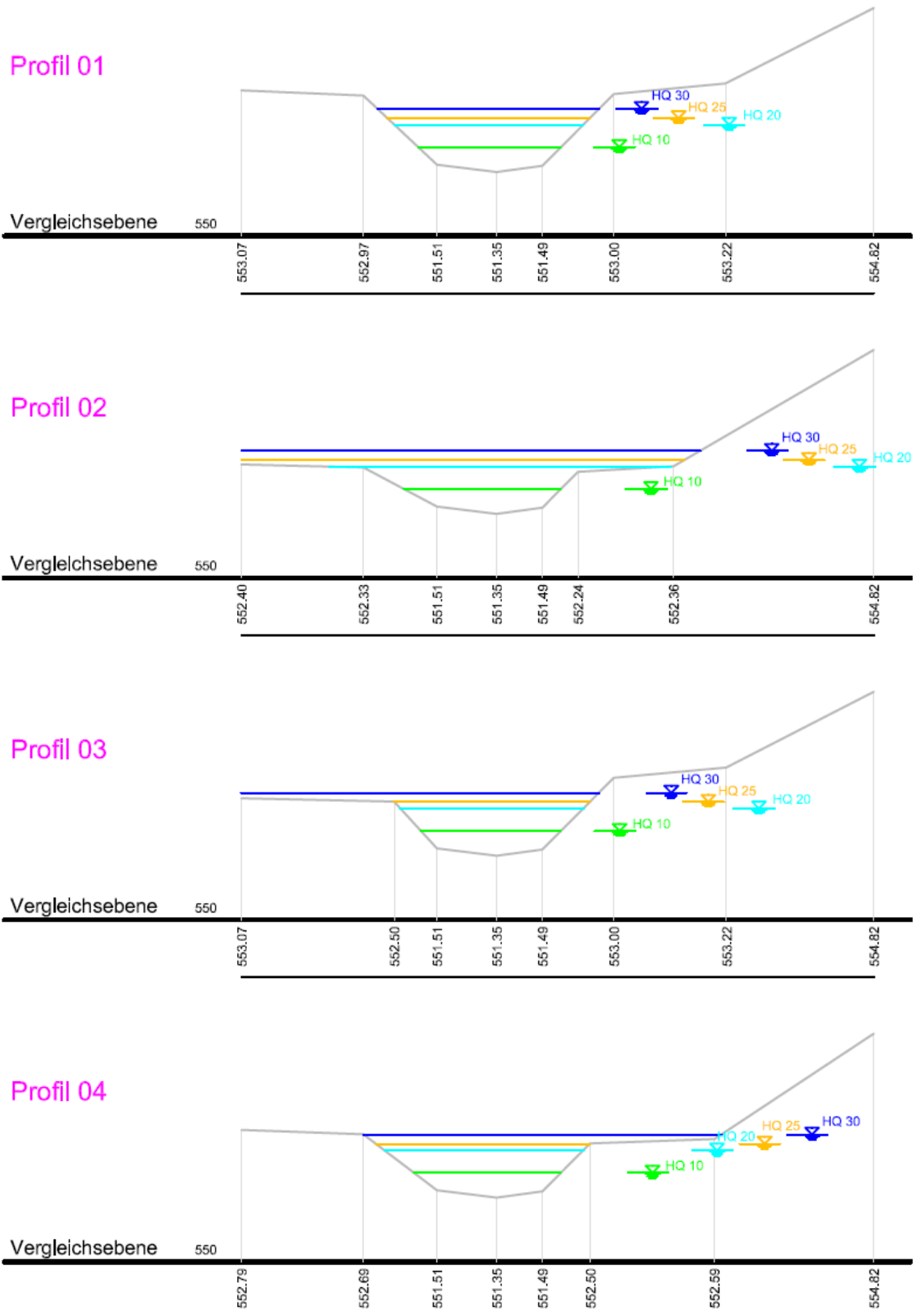


Abb. 73: zugehörige Profile (eigene Darstellung)

Die Zusammenhänge mit dem vorhandenen Gelände werden in der Betrachtung der zugehörigen Profile ersichtlich. Natürlich kann diese Form der Darstellung beliebig diskretisiert werden.

Für Planungszwecke im Katastrophenschutz, insbesondere die Maßnahmenplanung für Hochwasserereignisse, könnte eine Umsetzung dieser Form der Darstellung bereits eine deutliche Erleichterung bieten. Bei der Betrachtung der einzelnen Flächen kommt hierbei nicht nur die bisher aus Abflussuntersuchungen gewonnene „Summe an Schadensstellen“ zum Vorschein, sondern auch die Reihenfolge, in welcher es zu diesen Schäden kommt. Beispielsweise war es bisher möglich, anhand einer HQ100 Abflussuntersuchung festzustellen, dass in einem bestimmten Gebiet 16 Gebäude von einem möglichen Hochwasser dieser Größenordnung betroffen sein würden. Anhand der vorgestellten Form der Untersuchung wird allerdings eine weitere Information sichtbar, nämlich jene, in welcher Reihenfolge diese Häuser vom Hochwasser betroffen sein werden. Dieser Wissensvorsprung erleichtert die Planung von Schutzmaßnahmen.

Die Anwendung im tatsächlichen Anlassfall ist allerdings Abhängig vom aktuellen Durchfluss, welcher meist nicht bekannt ist. Umgelegt auf vorherige Ausführungen bedeutet dies: Ist eine Menge von angenommenen 140 Lageplänen verfügbar und in das GIS-System eingepflegt, so ist nicht bekannt, welcher Lageplan der aktuellen Hochwasserlage entspricht. Vermutlich spielt diese Information aber eine eher untergeordnete Rolle. Grund für diese Annahme ist, dass die aktuelle Hochwassersituation anhand von Beobachtungen vor Ort mit den Lageplänen abgeglichen werden kann. Ist nun ein Lageplan gefunden, welcher die aktuelle Situation bestmöglich widerspiegelt, zeigen die nachfolgenden Pläne den weiteren Verlauf des Hochwasserereignisses an.

4.1.3. Umsetzbarkeit eines derartigen Systems

Abflussuntersuchungen werden seitens der Stadt Graz, der Wildbach- und Lawinenverbauung, der Bundeswasserbauverwaltung oder anderen Interessenten auch in Zukunft für verschiedene Gewässer in Auftrag gegeben.

Diese Untersuchungen sind relativ kostspielig, wobei sich der damit verbundene große Aufwand vorrangig auf die Erstellung des Modells bezieht. Die Auswertung einzelner Hochwasserereignisse bedient sich dieses Modells und bedeutet hauptsächlich zusätzlichen Rechenaufwand.

Um ein derartiges System umzusetzen bedürfte es demnach lediglich einiger weniger Schritte:

- Im Zuge der Erstellung von Hochwasserabflussuntersuchungen ist grundsätzlich ein Zusatzauftrag zu vergeben, welcher eine umfangreichere Auswertung der einzelnen Hochwasserereignisse beinhaltet. Zumindest auf Ebene der Stadtverwaltung sollte dies möglich sein.
- Zur besseren Darstellung sind die daraus gewonnenen Informationen auf einer eigenen, dafür vorgesehenen Plattform sichtbar zu machen. Als Möglichkeit bieten sich hier GIS-Systeme an.
- Eine Schulung der Benutzer in Bezug auf Hochwasserereignisse, deren Entstehung und deren Modellierung ist sicherzustellen, um die grundlegenden Vorgänge verständlich zu machen.

4.1.4. Lamellenprognose – Flood Risk II

Flood Risk II steht für ein vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie sowie vom Lebensministerium (BMLFUW) initiiertes Forschungsprojekt im Hochwasserschutz. Es stützt sich auf das vorangegangene Projekt Flood Risk I, welches die Analyse der Hochwasserereignisse des Jahres 2002 zum Ziel hatte. Aufbauend auf den dabei erarbeiteten Ergebnissen war es Inhalt von Flood Risk II, „die Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwasserschutz zu erarbeiten“. Insgesamt wurden dafür 45 Teilprojekte, zusammengefasst in acht Workpackages, erarbeitet. [98]

Als eines dieser Teilprojekte wurde im Jahr 2009 unter dem Titel „Lamellenprognose“ ein System zur Unterstützung im Katastrophenmanagement vorgestellt, welches einen den Ausführungen dieses Kapitels

ähnlichen Ansatz verfolgt. Basierend auf einer zweidimensionalen Abflussberechnung wurden einzelne Hochwasserabflüsse als einzelne „Lamellen“ ausgewertet und graphisch verarbeitet. Allerdings handelt es sich bei den angegebenen Beispielen um Flüsse wie den Kamp oder die March, welche mit den Grazer Bächen nicht vergleichbar sind. Für die angeführten Flüsse wurde die Lamellenprognose zur Abschätzung großflächiger Überflutungen herangezogen. Insbesondere war es durch dieses Verfahren möglich, den Einfluss von bestimmten abwehrenden Maßnahmen zu simulieren. Diese Ergebnisse spielen vor allem in der Abschätzung der überregionalen Auswirkungen diverser Maßnahmen eine Rolle. Die Verfasser des Abschlussberichtes sehen in der Lamellenprognose vor allem ein Werkzeug zur gezielten Maßnahmenplanung sowie des koordinierten Personalmanagements seitens des Katastrophenschutzes. So kann beispielsweise abgeschätzt werden, bis zu welchem Zeitpunkt Wege befahrbar sind oder ab wann einzelne Gebiete geräumt werden sollten.

Seitens der Projektbearbeiter wird im Endbericht des Projektes festgehalten, dass sowohl Absoluthöhen der Berechnungswasserspiegel als auch bestimmte Absoluthöhen von Bauwerken in den Einsatzunterlagen festgehalten werden sollten, um im Anlassfall einen Bezug zwischen Berechnungswasserspiegel und dem bestehenden Gelände herstellen zu können.

In Hinblick auf die Finanzierbarkeit derartiger Berechnungen sehen BRAUNSTEIN et al. (2009) gute Chancen, diese Verfahren überall dort kostengünstig einzusetzen, wo Abflussuntersuchungen ohnehin in Auftrag gegeben werden. Ebenso sehen die Autoren auch in Bezug auf die Einsetzbarkeit von Lamellenprognosen präventiv in der Maßnahmenplanung und Einsatzvorbereitung großes Potential. Durch Kenntnis des Ablaufes eines Hochwasserereignis, anstatt nur das Endergebnis – also die Anschlaglinie – zu kennen, können Maßnahmenpläne deutlich differenzierter vorbereitet werden.

[15]

4.2. Darstellung der Fließzeiten

Zumindest für jene Grazer Bäche, an welchen im Jahr 2010 Pegelmessstellen installiert wurden, könnten zusätzliche Informationen über die Fließzeiten im Gerinne von Bedeutung sein. Sie könnten insbesondere folgende Frage beantworten: Wie viel Zeit bleibt den Einsatzkräften, bis ein gemessener Pegelanstieg einen bestimmten Punkt am Gerinne erreicht?

Gerade in Bezug auf die Tatsache, dass Hochwasserschutzmaßnahmen nie einen hundertprozentigen Schutz bieten können, dürfen sich Einsatzkräfte trotz aller Ausbaumaßnahmen und Investitionen nie gänzlich in Sicherheit wiegen. Mithilfe der neu installierten Pegel erlangen die Einsatzkräfte nun im Anlassfall einen Informationsvorsprung. Wichtig ist allerdings zu wissen, wie groß dieser Vorsprung tatsächlich ist. Grundsätzlich ist die Fließgeschwindigkeit aber Abhängig vom Durchfluss. Auch wenn dies aus den zuvor angeführten hydraulischen Zusammenhängen nicht auf den ersten Blick hervorgeht – in der Strickler-Formel kommt der Abfluss Q nicht vor – ändert sich mit steigendem Q in der Regel auch der hydraulische Radius R . Wie stark die Fließgeschwindigkeit mit veränderlichem Durchfluss variiert hängt also vom Gerinnequerschnitt oder, einfacher ausgedrückt, dem Umgebungsgelände ab.

Wird allerdings eine genauere Untersuchung verschiedener Hochwasserabflüsse vorausgesetzt, lässt sich zumindest eine Bandbreite an Fließgeschwindigkeiten ermitteln, wodurch eine Abschätzung der Fließzeit zwischen zwei Punkten möglich sein sollte. In der untenstehenden Form könnten Fließzeitermittlungen in die Maßnahmenplanung der Feuerwehr Einzug halten.

Tabelle 8: Darstellung der Fließzeiten eines Bachlaufes

| Orientierungspunkt | Fließzeit [min] |
|---------------------------|------------------------|
| Pegel A-Bach | 0 |
| Huberbrücke | 17-22 |
| GH Fischerwirt | 24-28 |
| Mündung B-Bach | 31-37 |

Um festzustellen, ob eine derartige Abschätzung möglich ist, wurde seitens des Verfassers der vorliegenden Masterarbeit ein fiktives Gerinne, der „Wunderbach“ geschaffen. Anhand von 10 Profilen, verteilt auf eine Fließstrecke von rund 200 Metern, wurden unterschiedliche Abflusssituationen dargestellt. Besonders wurde darauf geachtet, durch die Wahl der Abflussmengen auch eine Überbordung der Profile zu erreichen. Mithilfe der Software HEC-RAS 4.0 wurde eine 1D Berechnung mit insgesamt 10 verschiedenen Durchflussmengen durchgeführt.

4.2.1. Berechnungsergebnisse HEC-RAS

Die gesamten Berechnungsergebnisse der Software HEC-RAS sind im Anhang angeführt. Auf die Auswertung, sowie die wichtigsten Punkte soll an dieser Stelle kurz eingegangen werden.

Um die Fließzeit zu ermitteln wird der Profilabstand durch die Fließgeschwindigkeit dividiert. Bei der durchgeführten Berechnung variierten die Fließgeschwindigkeiten in Abhängigkeit des gewählten Durchflusses um über 100 Prozent. Die vorweg erhoffte, einfache tabellenartige Darstellung der Fließzeiten kann somit nicht realisiert werden. Stattdessen besteht allerdings die Möglichkeit, die Fließzeit als Diagramm über dem Durchfluss darzustellen. Daraus ergibt sich eine einfache Grafik, aus welcher die Fließgeschwindigkeit abgelesen werden kann. In Anbetracht dessen, dass die Durchflussmenge durch die Installation der Pegel bekannt sein sollte, kann so die Fließgeschwindigkeit relativ genau abgeschätzt werden. Voraussetzung für diese Art der Darstellung ist allerdings eine detaillierte Betrachtung mehrerer Durchflussmengen im Zuge der Abflussuntersuchung.

Die nachfolgende Grafik zeigt eine derartige Darstellung für das berechnete Ergebnis. Die Fließzeiten zwischen den einzelnen Profilen wurden bis zu einem bestimmten Punkt aufsummiert. Die dargestellte rote Linie entspricht den Fließzeiten für Profil 06 (River Station 4), die blaue Linie jenen für Profil 04 (River Station 6), jeweils ausgehend von Profil 10. Zum besseren Verständnis der Darstellung sollten die Profilkennzeichnungen natürlich durch bekannte

Fixpunkte und gebräuchliche Bezeichnungen ersetzt werden (Huber-Brücke, Fischerwirt, etc.).

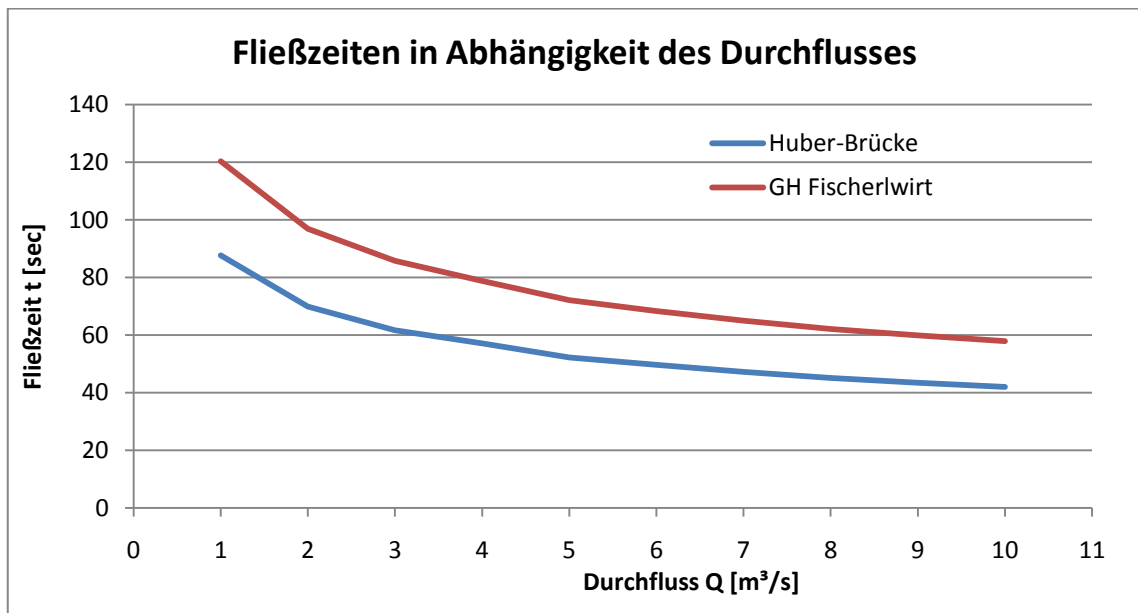


Abb. 74: Fließzeiten in Abhängigkeit des Durchflusses (eigene Darstellung)

Eventuell könnte eine derartige Grafik die Objekteinsatzpläne zumindest jener Bäche erweitern, welche bereits über Pegelmessstellen verfügen. Die Auswertung ist in einem Tabellenkalkulationsprogramm relativ einfach möglich und stellt – wie immer unter der Voraussetzung einer detaillierten Betrachtung mehrerer Hochwasserabflüsse – keinen großen Mehraufwand in der Abflussuntersuchung dar.

5. Ergebnisse und Ausblick

Die Aufgaben des Katastrophenschutzes sind heute umfangreicher und komplexer denn je. Gesteigertes Sicherheitsbewusstsein und eine immer massivere Verwundbarkeit unserer Bevölkerung führen dazu, dass die Anforderungen an alle Beteiligten in der Abwehr von Gefahren in den letzten Jahren um ein hohes Maß gestiegen sind – und vermutlich noch weiter steigen werden. Um diesen neuen Aufgaben gewachsen zu sein, stehen die für den Katastrophenschutz vorrangig verantwortlichen Kommunen vor der Aufgabe, gemeinsam mit Partnern aus verschiedenen Tätigkeitsfeldern den Schutz der Bevölkerung weiter zu optimieren. Gerade das Bauwesen mit all seinen Anwendungsgebieten ist und soll auch in Zukunft ein wichtiger Partner und eine Stütze für den Katastrophenschutz sein. Am Beispiel des Hochwasserschutzes kann deutlich die enge Verbundenheit zwischen Bauingenieur und Katastrophenschutz dargestellt werden. Wie die vorliegende Arbeit an einigen Beispielen aufzeigt, bestehen in vielen Teilbereichen Schnittstellen, an welchen sich eine gezielte Zusammenarbeit besonders anbietet.

Um eine solche Zusammenarbeit zu ermöglichen ist es allerdings erforderlich, die Strukturen und Arbeitsweisen der jeweiligen Partner zu kennen. Der Hauptteil der vorliegenden Arbeit beschäftigt sich in einem ersten Schritt mit der Erläuterung der jeweiligen relevanten Inhalte. In weiterer Folge wird versucht, entsprechende Schnittpunkte zwischen den Tätigkeitsfeldern zu finden.

Anhand mehrerer Beispiele wird einerseits darauf eingegangen, wie durch eine optimierte Auswertung von im Planungsprozess anfallender Daten ein bedeutender Mehrwert für den Katastrophenschutz erzeugt werden kann. Durch Anpassungen in einem frühen Planungsstadium eines Bauvorhabens des Schutzwasserbaus können auf einfache Art Informationen erstellt werden, die zu einem späteren Zeitpunkt nur mühevoll und vermutlich nicht in derselben Qualität vom Katastrophenschutz selbst erstellt werden könnten.

Im Gegenzug sind gerade die Erfahrungen und Berichte der Einsatzkräfte im Hochwasserfall ein wichtiges Instrument zur Eichung von Modellen und Berechnungen des Bauingenieurs. Auf Beobachtungen und vor allem

umfangreiche Dokumentationen ist deshalb auch in Zukunft besonderer Wert zu legen und ist demnach auch dieses Potential der Einsatzkräfte im Sinne eines integrierten Hochwasser- und Katastrophenschutzes vermehrt zu beachten. Durch Schulung und frühzeitige Maßnahmenplanung können künftig Handlungen der Einsatzkräfte im Vorfeld definiert werden, um Schäden bestmöglich zu verhindern.

Anhand zweier konkreter Beispiele wird auf die Problematik des Informationsverlustes im Planungsprozess hingewiesen. Durch die ausgeführten Lösungsvorschläge könnten künftig Einsatzunterlagen für den Katastrophenschutz um einige Punkte erweitert werden, um eine bestmögliche Entscheidungsgrundlage für die jeweiligen Verantwortungsträger zu bieten. Voraussetzung für beide Anwendungen ist jedoch eine detailliertere Betrachtung von Hochwasserereignissen im Planungsprozess, wie sie in ähnlicher Form bereits von Braunstein [15] im Zuge des Projektes Flood Risk II als wichtiges Werkzeug in der Maßnahmenplanung erkannt wurde. Durch das betrachten einer ganzen Reihe von Hochwasserereignissen kann der Nutzen aus den komplexen Gewässermodellierungen mit nur geringem Mehraufwand deutlich erhöht werden. Gerade derartige, relativ einfach zu realisierende Anpassungen bestätigen das noch in hohem Maße vorhandene Optimierungspotential hinsichtlich der Zusammenarbeit von Katastrophenschutz und technischen Wissenschaften.

Es ist zu wünschen, dass die in den einzelnen Abschnitten ausgeführten Inhalte zur weiteren Beschäftigung mit der zugrundeliegenden Thematik anregen. Auf jeden Fall sollten die derzeit noch nicht voll ausgeschöpften Möglichkeiten der Abflussuntersuchungen zur Planung im Hochwasserschutz weiter verfolgt werden. Inhalt weiterführender Untersuchungen könnte vor allem auch die Maßnahmenplanung für den Katastrophenschutz sein, um gezielte Entscheidungen im Anlassfall treffen zu können. Dadurch sind in weiterer Folge Hochwasserereignisse nicht nur mehr bis zu einem Bemessungsereignis sondern auch darüber hinaus zu betrachten und lassen dadurch eine Reduktion des entstehenden Schadens erwarten.

Literaturverzeichnis

- [1] AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG – ABTEILUNG 20 KATASTROPHENSCHUTZ UND LANDESVERTEIDIGUNG: Die Landeswarnzentrale. Stand: 2010-04-06,
<http://www.katastrophenschutz.steiermark.at/cms/ziel/5461/DE/>
- [2] AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG – WASSERWIRTSCHAFT: Wasserbilanz für die Steiermark. Stand: 2011-02-14,
http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/11076928_38439019/19c43097/WBilanz_Stmk.pdf
- [3] AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007: Eröffnung Hochwasserrückhaltebecken Gabriachbach. Bericht auf der Internetseite der Wasserwirtschaft Steiermark. Stand: 2011-02-13,
<http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10857450/4570277/>
- [4] BAUMANN, G., 2009: Naturgefahren durch Wildbäche und Lawinen. Vortrag im Zuge der „Donnerstags-Vortragsreihe“ an der TU Graz am 12. November 2009.
- [5] BERUFSFEUERWEHR GRAZ, 2010: Alarmplan HW. Zusammenstellung des Hochwasseralarmplanes der Grazer Berufsfeuerwehr, übergeben zur Verwendung im Zuge der vorliegenden Masterarbeit.
- [6] BERUFSFEUERWEHR GRAZ, 2010: Bauarbeiter nach Absturz gerettet. Einsatzbericht auf der Internetseite der Berufsfeuerwehr Graz. Stand: 2011-02-13,
<http://www.katastrophenschutz.graz.at/cms/beitrag/10154267/2091310/>
- [7] BEZIRKSFEUERWEHRVERBAND BRUCK/MUR, 2006: Fotodokumentation Katastrophenwinter Mariazell 2006.
- [8] BEZIRKSFEUERWEHRVERBAND BRUCK/MUR, 2006: Katastropheneinsatz im Mariazellerland. Stand: 2010-03-23,
http://www.bfvbm.steiermark.at/news/2006/mar_100206.htm

- [9] BINDER, C. & STEINREIBER, C., 2005: Charakterisierung von extremen Wetterereignissen. In: Steininger, K.W., Steinreiber, C. & Ritz, C. (Hrsg.): Extreme Wetterereignisse und ihre wirtschaftlichen Folgen. Anpassung, Auswege und politische Forderungen betroffener Wirtschaftsbranchen. 25-44, Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- [10] BMLFUW (Lebensministerium), 2006: Hochwasserrückhalteanlagen. Handbuch für Instandhaltung, Betrieb und Überwachung im Bereich der Bundeswasserbauverwaltung. 82 S.
- [11] BMLFUW (Lebensministerium), 2010: Hochwasserrückhaltebecken – Arbeitsbehelf Grundablässe. Gestaltung und Bemessung von Grundablassbauteilen. 76 S.
- [12] BMLFUW, 2006: Hochwasserschutz. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 58 (3-4): a4-a5.
- [13] BOLLRICH, G., 2007: Technische Hydromechanik 1. Grundlagen. 6. Aufl., 456 S., Berlin: Huss-Medien GmbH.
- [14] BOUVIER, F., 1978: Das „eiserne Haus“. In: Stadt Graz (Hrsg.): Historisches Jahrbuch der Stadt Graz. Band 10. Graz, 1978.
- [15] BRAUNSTEIN, Ch. & GABLER, R., 2009: Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 – Flood Risk. Workpackage A_Meteorologie/Hydrologie. TP1.3 – Hochwasserwarnsystem – Lamellenprognose. Unveröffentlicht.
- [16] BRAUNSTEIN, Ch. & WIMMER, H., 2009: Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement. Hochwasserwarnsystem - Lamellenprognose. Katastrophenschutzmanagementsystem. Präsentation im Zuge von Flood Risk II.
- [17] BUBER, M., 2010: Errichtung und Betrieb einer Serviceplattform zur Bürgerinformation bei Hochwasser. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 62 (1-2): a19-a22.

- [18] BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE: FwDV 100. Führung und Leitung im Einsatz. Stand: 2010-03-24,
http://www.bbk.bund.de/cln_027/nn_667456/DE/06__Fachinformationsstelle/03__Vorschriften__und__Richtlinien/06__Volltext__FwDV/FwDV_20100,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/FwDV%20100.pdf
- [19] BUNDESANSTALT TECHNISCHES HILFSWERK, 2001: Handbuch Hochwasserschutz-Deichverteidigung. 110 S., Bonn.
- [20] BUNDESMINISTERIUM FÜR INNERES, 2006: Richtlinie für das Führen im Katastrophenfall. Stand: 2010-03-20,
http://www.bmi.gv.at/cms/BMI_Service/Richtlinie_fuer_das_Fuehren_im_Katastropheneinsatz.pdf
- [21] BUNDESWASSERBAUVERWALTUNG, AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG - FACHABTEILUNG 19B & STADT GRAZ - A 10/5 GRÜNRAUM UND GEWÄSSER, 2006: Sachprogramm GRAZER BÄCHE. Studie 2006. Hochwasserschutzmaßnahmen.
- [22] BWK, 2005: Merkblatt 6 / BWK. Mobile Hochwasserschutzsysteme. Grundlagen für Planung und Einsatz. 170 S., Sindelfingen: Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V..
- [23] DIDSZUN, J.; ZIEMKE, B. & MERZ, B., 2007: Zwei Jahre RIMAX – Rückblick und Ausblick. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 19 (1): 69-70.
- [24] DOMBROWSKY, W., 1991: Computereinsatz im Zivil- und Katastrophenschutz. Möglichkeiten und Grenzen. 94 S., Bonn (Zivilschutz-Forschung 4).
- [25] DRÄGER SAFETY AG & Co KGaA, 2009: Training unter Feuer. Heißausbildung der Dräger Academy. Stand: 2011-03-09,

- http://www.draeger.at/media/10/00/93/10009386/training_unter_feuer_br_9046155_de.pdf
- [26] EGGER-SCHINNERL, B., 2010: Hochwasserrisiko in Graz. Vortrag im Zuge der Lehrveranstaltung Risiko- und Katastrophenmanagement an der Technischen Universität Graz.
- [27] EIGENE DARSTELLUNG: Katastrophenschutzabteilungen. Bildquellen:
Stand: 2011-03-02,
Stadt Graz: <http://www.graz.at/g/graz-logo.gif>
Land Steiermark:
<http://www.steiermark.at/cms/bilder/373796/80/0/0/20f2ee0d/logo-land.gif>
- [28] FEUERWEHR GRAZ, 2009: Katastropheneinsatz nach Unwetter in Graz – 18.07.2009. Digitales Fotoalbum. Stand: 2011-02-10,
<http://www.flickr.com/photos/feuerwehrgraz/sets/72157621508187437/with/3732612522/>
- [29] FEUERWEHR- UND ZIVILSCHUTZSCHULE STEIERMARK, 1999: Funker in der Einsatzleitung. Unterlage zum gleichnamigen Lehrgang in zwei Teilen. Unveröffentlicht.
- [30] FEUERWEHR- UND ZIVILSCHUTZSCHULE STEIERMARK, 2005: Feuerwehr-Kommandanten Lehrgang. Unterlage zum gleichnamigen Lehrgang. Unveröffentlicht.
- [31] FF GRAZ, 2010: Zweite Wehrversammlung der Freiwilligen Feuerwehr Graz. Artikel auf der Internetseite der FF Graz. Stand: 2011-02-09,
<http://www.ff-graz.at/aktuelles/news/details/freiwillige-feuerwehr-graz/zweite-wehrversammlung-der-freiwilligen-feuerwehr-graz-19.html>.
- [32] FF GRAZ: Internetauftritt der Freiwilligen Feuerwehr Graz. Stand: 2010-10-21. <http://www.ff-graz.at>.
- [33] FF KAPFENBERG-HAFENDORF, 2006: Fotodokumentation Katastrophenwinter Mariazell 2006.

- [34] FINK, P.; BODI, G. & HAIDER, S., 2006: Abschätzung des Vertrauensbereichs von berechneten Hochwasser-Spiegellagen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 58 (11-12): a15-a18.
- [35] FOELSCHE, U., 2005: Regionale Entwicklung und Auswirkungen extremer Wetterereignisse am Beispiel Österreich. In: Steininger, K.W., Steinreiber, C. & Ritz, C. (Hrsg.): Extreme Wetterereignisse und ihre wirtschaftlichen Folgen. Anpassung, Auswege und politische Forderungen betroffener Wirtschaftsbranchen. 25-44, Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- [36] FREILAND UMWELTCONSULTING, 2006: Sachprogramm Graz Bäche. Studie 2006. Freiraumplanung. Bericht Freiraumplanung. 31 S.
- [37] FREIWILLIGE FEUERWEHR KLEIN-WINTERNHEIM: Brand des Bahnhofgebäudes am 12.06.1985. Bericht auf der Internetseite der FF Klein-Winternheim
- [38] FREIWILLIGE FEUERWEHR KREMS/DONAU, 2005: Hochwasseralarmierung für den Kremsfluss. Bericht auf der Internetseite der Feuerwehr Krems. Stand: 2011-02-12, <http://www.feuerwehr-krems.at/ShowArtikel.asp?Artikel=2757>
- [39] FREIWILLIGE FEUERWEHR KREMS/DONAU, 2010: Hochwasseralarm am Kremsfluss. Bericht auf der Internetseite der Feuerwehr Krems. Stand: 2010-09-06, <http://www.feuerwehr-krems.at/ShowArtikel.asp?Artikel=7740>
- [40] Gesetz mit dem die Organisation der Feuerwehren im Land Steiermark geregelt wird (Landesfeuerwehrgesetz) i.d.F. vom 25. April 2006. Landesgesetzblatt (73): 1979.
- [41] Gesetz über die Abwehr und Bekämpfung von Katastrophen (Steiermärkisches Katastrophenschutzgesetz) i.d.F. vom 01. April 2006. Landesgesetzblatt (62): 1999.

- [42] Gesetz über die Rettungsdienste (Steiermärkisches Rettungsdienstgesetz) i.d.F. vom 1. Juli 2009. Landesgesetzblatt (20): 1990.
- [43] GEWÄSSER STADT GRAZ, 2005: Dokumentierte Hochwässer. August 2005. Bericht auf der Internetseite der Stadt Graz. Stand: 2011-02-10.
<http://gis.graz.at/cms/beitrag/10057934/1070897>
- [44] GEWÄSSER STADT GRAZ, 2007: Schöckelbach Hochwasserschutz. Feuerwehrrübung am Schöckelbach erfolgreich durchgeführt. Bericht auf der Internetseite der Stadt Graz. Stand: 2011-02-08.
<http://gis.graz.at/cms/beitrag/10074820/1064698/>
- [45] GEWÄSSER STADT GRAZ, 2009: 18. Juli 2009 Hochwasser in Graz nach massiven Regenfällen. Katastrophenalarm ausgelöst. Bericht auf der Internetseite der Stadt Graz. Stand: 2010-08-24.
<http://gis.graz.at/cms/beitrag/10122294/2491013>
- [46] GEWÄSSER STADT GRAZ, 2009: Rückhaltebecken Gabriachbach. Bericht auf der Internetseite der Stadt Graz. Stand: 2010-08-24.
<http://gis.graz.at/cms/beitrag/10057804/1071359/>
- [47] GEWÄSSER STADT GRAZ, 2010: Schöckelbach 1. Bauabschnitt. Hochwasserschutz, Sachprogramm Grazer Bäche. Bericht auf der Internetseite der Gewässer Stadt Graz. Stand: 2011-02-12,
<http://gis.graz.at/cms/beitrag/10112712/1071344/>
- [48] GIESECKE, J. & MOSONYI, E., 2005: Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb. 4. Aufl., 830 S. Berlin: Springer-Verlag.
- [49] GRAEGER, A. (Hrsg.); CIMOLINO, U.; DE VRIES, H. & SÜDMERSEN, J., 2009: Einsatz- und Abschnittsleitung. Das Einsatz-Führungs-System. Reihe: Einsatzpraxis. 2. Aufl., Heidelberg: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH.
- [50] HABERSACK, H.; BÜRCEL, J.; KANONIER, A. & STIEFELMEYER H., 2010: FloodRisk I und II: Grundlagen für ein integriertes

- Hochwassermanagement in Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 62 (1-2): 1-6.
- [51] HABERSACK, H.; HENGL, M.; KNOBLAUCH, H. & TRITTHART, M.: Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Hydrodynamik.
- [52] HORNICH, R. & WIENER, R., 2007: 4. Grazer Bäche-Enquete. Präsentation im Zuge der gleichnamigen Veranstaltung.
- [53] HORNICH, R., 2007: Sachprogramm Grazer Bäche – Hochwasserschutz. In: Wasserland Steiermark 07 (2.1): 3-4.
- [54] HYDROCONSULT GmbH, 2006: Sachprogramm Grazer Bäche. Technischer Bericht Annabach.
- [55] HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT mbH; FACHHOCHSCHULE AACHEN; DEUTSCHER WETTERDIENST OBSERVATORIUM HOHENPEISZENBERG, 2008: Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS). 395 S., Förderprogramm des BMBF: Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX). Schlussbericht. Stand: 2010-03-17,
<http://www.urbanesturzfluten.de/schlussbericht/schlussbericht/download>
- [56] INGENIOS ZIVILTECHNIKER GmbH, 2006: Sachprogramm Grazer Bäche. Maßnahmenprogramm 2006. Zusammenfassender Bericht. Unveröffentlicht.
- [57] KNOBLAUCH, H. & SCHNEIDER, J., 2009: Fluss- und Sedimenthydraulik. Skriptum zur gleichnamigen Lehrveranstaltung an der TU Graz.
- [58] KRAJNZ, H. & AUGUSTINI, M., 2009: Hochwasser 2009. Zusammenfassende Präsentation der Hochwasserereignisse des Jahres 2009.

- [59] KRAJNZ, H. (Berufsfeuerwehr Graz): Mündliche Mitteilungen im Zuge einer Führung durch die Katastrophenleitstelle der Berufsfeuerwehr Graz vom 19.03.2010.
- [60] KRATZER, K., 2006: Sachprogramm Grazer Bäche. Mariatrosterbach und Zubringer. Technischer Bericht.
- [61] LAND NIEDERÖSTERREICH, 2008: Zivilschutz. Stand: 2011-01-05, <http://www.noel.gv.at/Land-Zukunft/Katastrophenschutz/Vorsorgen-des-Landes/Zivilschutz.wai.html>
- [62] LANDESFEUERWEHRVERBAND STEIERMARK, 2009: Richtlinie Feuer und Bergebereitschaft des Steirischen Landesfeuerwehrverbandes. Stand: 2010-03-23, http://www.lfv.stmk.at/Portaldaten/1/Resources/dokumente/4_fweinsatz/1_fub_dienst/rl/RL_FuB_Neu.pdf
- [63] LEBENSMINISTERIUM, 2002: Die Kraft des Wassers. Richtiger Gebäudeschutz vor Hoch- und Grundwasser. 2. Aufl., 24 S., Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW).
- [64] LFV STEIERMARK, 2010: Achtzehnsiebzig Zwanzigzehn. 140 Jahre Landesfeuerwehrverband Steiermark. 140 S. Festschrift zum Jubiläum des Landesfeuerwehrverbandes Steiermark.
- [65] MALBERG, H., 2007: Meteorologie und Klimatologie. Eine Einführung. 5. Aufl., 408 S. Berlin: Springer-Verlag.
- [66] MATHIS, C., 2006: Zuflussvorhersage der Bregenzerach für den Bodensee. In: Gutknecht, D. (Hrsg.): Hochwasservorhersage. Erfahrungen, Entwicklungen & Realität, 55-68, Wien (Wiener Mitteilungen, Wasser Abwasser Gewässer 199).
- [67] NESTLER, E., 2010: Das K-20-Konzept der Stadt Graz. Analyse von 20 Katastrophenszenarien. In: WIDETSCHEK, O. (Hrsg.): 11. Internationales Aprilsymposium 2010. 238-244, Graz.

- [68] ÖSTERREICHISCHER BUNDESFEUERWEHRVERBAND, 2010: 120 Jahre Österreichischer Bundesfeuerwehrverband. Sonderausgabe Jahrbuch 2010. 423 S.
- [69] ÖSTERREICHISCHER ZIVILSCHUTZVERBAND: Internetseite des Sicherheitsinformationszentrums. Stand: 2011-02-03, <http://www.sicherheitsinformationszentrum.at>
- [70] PAAR, H.-P., 2010: Hochwasserschutz. Aufgaben und Leistungen der öffentlichen Verwaltung. Vortrag im Zuge der Lehrveranstaltung „Risiko- und Katastrophenmanagement“ an der TU Graz am 07. Dezember 2010.
- [71] PATT, H., JÜRGING, P. & KRAUS, W. 2009: Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. 3. Aufl., 464 S., Berlin: Springer-Verlag.
- [72] PATT, H.; JÜRGING, P. & KRAUS, W., 2009: Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. 3. Aufl., 464 S., Berlin: Springer-Verlag.
- [73] PÖLZL, A., 2009: Abteilung Katastrophenschutz und Feuerwehr. Gastvortrag im Rahmen der Lehrveranstaltung Risiko- und Katastrophenmanagement am 10.11.2009 an der TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.
- [74] PÖLZL, A., 2010: Black-Box: Katastrophenschutz. In: WIDETSCHEK, O. (Hrsg.): 11. Internationales Aprilsymposium 2010. 228-231, Graz.
- [75] POPP, H.F., 2005: Das Handy im Notfall- und Rettungseinsatz. Notfall + Rettungsmedizin 8 (6): 434-439.
- [76] RAKUSCH, R.-H., 2006: Sachprogramm Grazer Bäche. Schöckelbach mit Zubringern und Zusertalgerinne. Technischer Bericht.
- [77] REINHARDT, M., 2008: Die Neuordnung des europäischen Hochwasserschutzes. ERA-Forum 9 (3): 445-454.

- [78] RÖSSERT, R., 1999: Hydraulik im Wasserbau. 10. Aufl., 184 S., München: Oldenbourg Verlag.
- [79] SCHLEICHER, S.P. & STEININGER, K.W., 2005: Wirtschaftliche Analyse von extremen Wetterereignissen: Struktur und Anwendung. In: Steininger, K.W., Steinreiber, C. & Ritz, C. (Hrsg.): Extreme Wetterereignisse und ihre wirtschaftlichen Folgen. Anpassung, Auswege und politische Forderungen betroffener Wirtschaftsbranchen. 25-44, Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- [80] SEITZ, P. (FF Krems/Donau): Mündliche Mitteilungen im Zuge einer Besichtigung der Hochwasserschutzmaßnahmen in Krems, Freiwillige Feuerwehr Krems/Donau, am 26.03.2010.
- [81] SOMMER GmbH & Co KG: Pegelmessung. Produktübersicht auf der Internetseite der Firma Sommer Messtechnik. Stand: 2011-02-11, <http://www.sommer.at/de/produkte/geraete-sensoren/pegelmessung.html>
- [82] STADT GRAZ – ABTEILUNG FÜR KATASTROPHENSCHUTZ UND FEUERWEHR, 2009: Objekteinsatzplan 04 Schöckelbach.
- [83] STADT GRAZ – ABTEILUNG FÜR KATASTROPHENSCHUTZ UND FEUERWEHR, 2009: Objekteinsatzpläne Grazer Bäche und Mur.
- [84] STADT GRAZ, 2010: Bevölkerung der Landeshauptstadt Graz. Stand: 2011-02-28, http://www1.graz.at/Statistik/Bev%C3%B6lkerung/Bev%C3%B6lkerung_2009_ohneWanderung.pdf
- [85] STADT GRAZ: Gewässerpflege und Instandhaltung. Bericht auf der Internetseite der Stadt Graz. Stand: 2010-12-22, <http://gis.graz.at/cms/beitrag/10059839/1070912>
- [86] STADT GRAZ: Internetauftritt der Abteilung für Katastrophenschutz und Feuerwehr. Stand: 2010-04-14, <http://www.katastrophenschutz.graz.at>

- [87] STRASSER, W. & BUCHTA, J., 2010: Mobiler Hochwasserschutz Krems-Stein. Vortrag im Zuge der ÖWAV-Veranstaltung „Mobiler und Technischer Hochwasserschutz“ am 25. März 2010 in Wien.
- [88] STROBL, T. & ZUNIC, F., 2006: Wasserbau. Aktuelle Grundlagen – Neue Entwicklungen. 613 S., Berlin: Springer-Verlag.
- [89] TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ - INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT, 2007: Hydromechanik und Hydraulik. Hydraulik. Skriptum zur gleichnamigen Lehrveranstaltung.
- [90] TECHNISCHES HILFSWERK – Landesverband Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, 2008: Brandbekämpfung Mülldeponie Riestedt. Beitrag auf der Internetseite des Technischen Hilfswerkes. Stand: 2011-02-10, http://www.lv-bebbst.thw.de/einsatz_det.php?oesid=LVBE&lfid=488
- [91] TREFFER, G., 1984: Das grosse steirische Feuerwehrbuch. 587 S., Wien: Verlag Christian Brandstätter.
- [92] Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung über Vorbereitungsmaßnahmen zur Abwehr und Bekämpfung von Katastrophen i.d.F. vom 04. Dezember 2000. Landesgesetzblatt (80): 2000.
- [93] WAGNER, K., 2008: Der Risikoansatz in der europäischen Hochwassermanagementrichtlinie. Natur und Recht. 30 (11): 774-779.
- [94] WASSERWIRTSCHAFT STEIERMARK, 2010: Hydrographischer Bericht August 2005. Stand: 2011-02-12, <http://app.hydrographie.steiermark.at/berichte/august2005.pdf>
- [95] WASSERWIRTSCHAFT STEIERMARK, 2010: Hydrographischer Bericht Juli 2010. Stand: 2011-02-12, <http://app.hydrographie.steiermark.at/berichte/juli2010.pdf>

- [96] WIDETSCHEK, O., 2007: Historische Betrachtungen. Vorlesungsunterlage zur VO „Ist der Brandschutz ein Stiefkind?“ an der Karl-Franzens-Universität Graz.
- [97] WIENER, R., 2007: Das Sachprogramm Grazer Bäche aus Sicht der städtischen Projektleitung. In: Wasserland Steiermark 07 (2.1): 5-6.
- [98] WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG: Flood Risk II. Beitrag auf der Internetseite der Wildbach- und Lawinenverbauung. Stand: 2011-02-09. <http://www.forstnet.at/article/articleview/76960/1/4932>
- [99] ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (ZAMG a): Nowcastingsystem INCA. Stand: 2010-04-14, <http://www.zamg.ac.at/forschung/synoptik/inca/>
- [100] ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (ZAMG), 2010: INCA-Portal der Berufsfeuerwehr Graz. Vortrag im Zuge der Einführung des Wetterprognosemodells INCA bei der Berufsfeuerwehr Graz am 7. Juli 2010.

Tabellenverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Das K-20-Konzept der Stadt Graz (nach: [67])..... | 16 |
| Tabelle 2: Überschneidungen zwischen Katastrophenschutz und Bauwesen am Beispiel „K-20“ | 17 |
| Tabelle 3: Nowcastingsystem INCA [98]..... | 30 |
| Tabelle 4: Aufwandswerte zur Dammherstellung [19]..... | 35 |
| Tabelle 5: Hochwasserabflüsse einiger Grazer Bäche sowie der Mur [82] | 48 |
| Tabelle 6: Darstellung verschiedener Stricklerbeiwerte (nach [77]) | 64 |
| Tabelle 7: Beispielhafte Gerinneberechnungen | 66 |
| Tabelle 8: Darstellung der Fließzeiten eines Bachlaufes | 97 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1: Hochwasser in Andritz [45] | 1 |
| Abb. 2: Hochwasser am Gabriachbach in Graz-Andritz im August 2005 [43] | 3 |
| Abb. 3: Grazer Bäche, Auszug [58] | 4 |
| Abb. 4: Darstellung des Murhochwassers im Juni 1827 mit Blick auf den Grazer Schlossberg [52] | 7 |
| Abb. 5: Schwere Schäden nach einem Hochwasser am Leonhardbach im Jahr 1913 [52] | 8 |
| Abb. 6: Hochwasser am Mariatrosterbach (links) sowie am Schöckelbach (rechts) im Jahr 1975 [52] | 8 |
| Abb. 7: Katastrophenschutzabteilungen des Landes Steiermark sowie der Stadt Graz [27] | 9 |
| Abb. 8: Drei-Wachen-Konzept der Berufsfeuerwehr Graz [85] [Google Maps] | 10 |
| Abb. 9: Einsatz der Höhenrettung der BF Graz nach einem Bauunfall [6] | 11 |
| Abb. 10: Wachen der Freiwilligen Feuerwehr Graz [32] [85] [Google Maps] | 13 |
| Abb. 11: Kommunikationsstrukturen der LWZ Steiermark, Stand 1999 [29] | 15 |
| Abb. 12: Bundesheereinsatz im Zuge des Katastrophenwinters in Mariazell 2006 [7] | 19 |
| Abb. 13: Katastropheneinsatz in Mariazell 2006 [33] | 19 |
| Abb. 14: Geschiebebecken der WLW in Funktion [4] | 22 |
| Abb. 15: Grundsätzliche Gliederung des Stabes [62] | 25 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 16: Gliederung des Stabes [20]..... | 26 |
| Abb. 17: Gewichtung verschiedener Prognosemodelle [99]..... | 30 |
| Abb. 18: Auszug aus den Grazer-Abwehr-Karten am Beispiel "Krankenhäuser" [72]..... | 33 |
| Abb. 19: Sandsackdamm in Graz-Andritz im Zuge des Hochwassers am 18. Juli 2009 [28]..... | 35 |
| Abb. 20: Errichtung eines Sandsackdammes zur Löschwasserrückhaltung [89]..... | 36 |
| Abb. 21: Sandsackdepots entlang des Schöckelbaches [44]..... | 37 |
| Abb. 22: Mobiler Hochwasserschutz in Krems a.d. Donau [86]..... | 37 |
| Abb. 23: Drucksonde und Ultraschallsensor zur Pegelmessung [80]..... | 39 |
| Abb. 24: Aufzeichnungen des Pegels Hohenstein am 15.07.2010 [39] Warnmarken: Grün – Vorwarnstufe; Gelb – Hochwasserwarnstufe; Rot – Hochwasseralarmstufe..... | 39 |
| Abb. 25: Mobilelemente auf dafür vorgesehener Ufermauer ergänzt um zusätzliche Sandsäcke [86]..... | 40 |
| Abb. 26: Wasserbilanz für die Steiermark [2] | 42 |
| Abb. 27: Tagesniederschlagssummen der Messstation Graz vom Juli 2010 [94]..... | 43 |
| Abb. 28: Tagesniederschlagssummen der Messstation Graz vom August 2005 [93]..... | 44 |
| Abb. 29: Hochwasserwelle schematisch (eigene Darstellung) | 45 |
| Abb. 30: Fotostandort (gelb) zu Abb. 32 (Orthofoto: GIS-Steiermark)..... | 46 |
| Abb. 31: Hochwasserabfluss am Schöckelbach, Höhe Schöckelbachweg Nr. 13, bachaufwärts [81]..... | 47 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 32: Normalabfluss am Schöckelbach, Höhe Schöckelbachweg Nr. 13, bachaufwärts [75]..... | 47 |
| Abb. 33: Vergleich verschiedener Berechnungsverfahren | 50 |
| Abb. 34: Kontinuierlicher Informationsverlust (eigene Darstellung)..... | 51 |
| Abb. 35: Fehlerbandbreiten für 1D-Modelle, nicht maßstäblich..... | 53 |
| Abb. 36: Kolkbildung in einer Flusskrümmung [57] | 53 |
| Abb. 37: Weiterführende Literatur [13] [77] | 54 |
| Abb. 38: Der in Abb. 39 gezeigte Bereich aus der Vogelperspektive [26] | 55 |
| Abb. 39: Bachabschnitt des Josefbachs in Graz mit eingezeichneten Hochwasseranschlaglinien gemäß Abflussuntersuchung [26] | 56 |
| Abb. 40: Brandbekämpfung einst und heute [25] [37] | 58 |
| Abb. 41: Verschiedene Fließgeschwindigkeiten bei unterschiedlichem Querschnitt in einer Rohrleitung..... | 62 |
| Abb. 42: Fließquerschnitt bei Vollfüllung und offenem Gerinne..... | 63 |
| Abb. 43: Strickler-Beiwerte k_{St} in einem innerstädtischen Gerinne (Hintergrundfoto: [75])..... | 64 |
| Abb. 44: Strickler-Beiwerte in einem rauen Gerinne (Hintergrundfoto: [75])..... | 65 |
| Abb. 45: Trapezprofil mit eingetragenen Berechnungsergebnissen aus Tabelle 7 | 65 |
| Abb. 46: Hydraulischer Radius $R = A / U$ [88] | 67 |
| Abb. 47: Vergleich zwischen Trapez- und Kastenquerschnitt | 67 |
| Abb. 48: Hydraulisch ungünstiger Durchlasseinlauf [54] | 68 |
| Abb. 49: Gleichung von Bernoulli - graphische Zusammenhänge [88]..... | 69 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 50: Einlaufverluste verschiedener Rohreinläufe [48]..... | 70 |
| Abb. 51: Massive Verklausung eines Straßendurchlasses [26]..... | 71 |
| Abb. 52: Verklausungsschutz am Grundablass eines Rückhaltebeckens am Gabriachbach [46]..... | 71 |
| Abb. 53: Rohrleitung und Geschiebeanlandung im Abflussquerschnitt unter einer Brücke [75]..... | 72 |
| Abb. 54: Typische Gerinneigenschaften (Hintergrundbild [88]) | 73 |
| Abb. 55: Prall- und Gleitufer [87] | 74 |
| Abb. 56: Bewuchs im unmittelbaren Hochwasserabflussbereich am Mariatrosterbach [60] | 76 |
| Abb. 57: Schnitt durch ein Rückhaltebecken (schematisch)..... | 77 |
| Abb. 58: Rückhaltebecken am Gabriachbach im Zuge eines Hochwasserereignisses im Juli 2009 [46] [3] | 78 |
| Abb. 59: Teilgefülltes Hochwasserrückhaltebecken am Gabriachbach, Hochwasser im Juli 2009 [46] | 79 |
| Abb. 60: Beeinflussung der Hochwasserwelle durch ein Rückhaltebecken [10] | 79 |
| Abb. 61: Eingangsgrößen der Speichergleichung [87] | 80 |
| Abb. 62: Gerinneaufweitungen am Schöckelbach im Bereich Schöckelbachweg [47] | 81 |
| Abb. 63: Ausgebaute Bereiche zeigen Wirkung [47] | 81 |
| Abb. 64: Ufersanierungsarbeiten am Leonhardbach [84]..... | 82 |
| Abb. 65: Ausbildung von Prall- und Gleitufer [71]..... | 83 |
| Abb. 66: Gestaltungsprofil Bereich Mündung Aubach [36]..... | 84 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 67: Nutzen von vorhandenen Flächen | 85 |
| Abb. 68: Überflutungsflächen des HQ30 sowie des HQ100 am Raababach [GIS Steiermark] | 87 |
| Abb. 69: Überflutungsflächen bei 00:00 (blau), 00:15 (gelb) und 00:30 (cyan) | 89 |
| Abb. 70: Subtraktion der Überflutungsflächen zwischen 00:00 und 00:15 | 90 |
| Abb. 71: Subtraktion der Überflutungsflächen zwischen 00:15 und 00:30 | 90 |
| Abb. 72: Darstellung mehrerer Hochwasseranschlaglinien durch Diskretisierung (eigene Darstellung) | 92 |
| Abb. 73: zugehörige Profile (eigene Darstellung) | 93 |
| Abb. 74: Fließzeiten in Abhängigkeit des Durchflusses (eigene Darstellung)..... | 99 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Abb. | Abbildung |
| BF | Berufsfeuerwehr |
| BFV | Bezirksfeuerwehrverband |
| BMI | Bundesministerium für Inneres |
| BMLFUW | Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft |
| ca. | circa |
| FF | Freiwillige Feuerwehr |
| FuB | Feuerlösch- und Bergebereitschaft |
| HQ100 | 100-jährliches Hochwasser |
| HRB | Hochwasserrückhaltebecken |
| KHD | Katastrophenhilfsdienst |
| KSD | Katastrophenschutzdienst |
| LFV | Landesfeuerwehrverband |
| LWZ | Landeswarnzentrale |
| ÖBFV | Österreichischer Bundesfeuerwehrverband |
| RHB | Rückhaltebecken |
| SKKM | Staatliches Krisen- und Katastrophenmanagement |
| THW | Technisches Hilfswerk |
| WSP | Wasserspiegel |
| ZAMG | Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik |

Anhang A

Berechnungsergebnisse Fließzeitermittlung HEC-RAS

Die in Kapitel 4.2 der vorliegenden Masterarbeit angeführten Berechnungsergebnisse der Fließzeiten eines fiktiven Bachlaufes sind nachfolgend in Tabellenform angegeben.

Die Berechnungen wurden mit der Software HEC-RAS 4.0 durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein frei verfügbares 1D-Berechnungsprogramm. Als Ergebnisse werden neben der Geschwindigkeit auch die Wasserspiegellagen der einzelnen Profile angegeben. Als Grundlage diente ein fiktiver Bachlauf des „Wunderbaches“, dessen Geländegeometrie in der Software frei entworfen wurde. Dabei wurde allerdings darauf geachtet, eine Überbordung der Profile zu erreichen um somit auch eine höhere Rauigkeit des Vorlandes berücksichtigen zu können. Als Rauigkeitsbeiwerte wurden für den Flussschlauch 0,035 und für das Vorland zwischen 0,5 und 0,6 gewählt (Manning's value). Dies entspricht in etwa Strickler-Beiwerten von 28 für das Gerinne bzw. 17-20 für das Vorland. Der gewählte Profilabstand für den „Wunderbach“ beträgt 20 Meter.

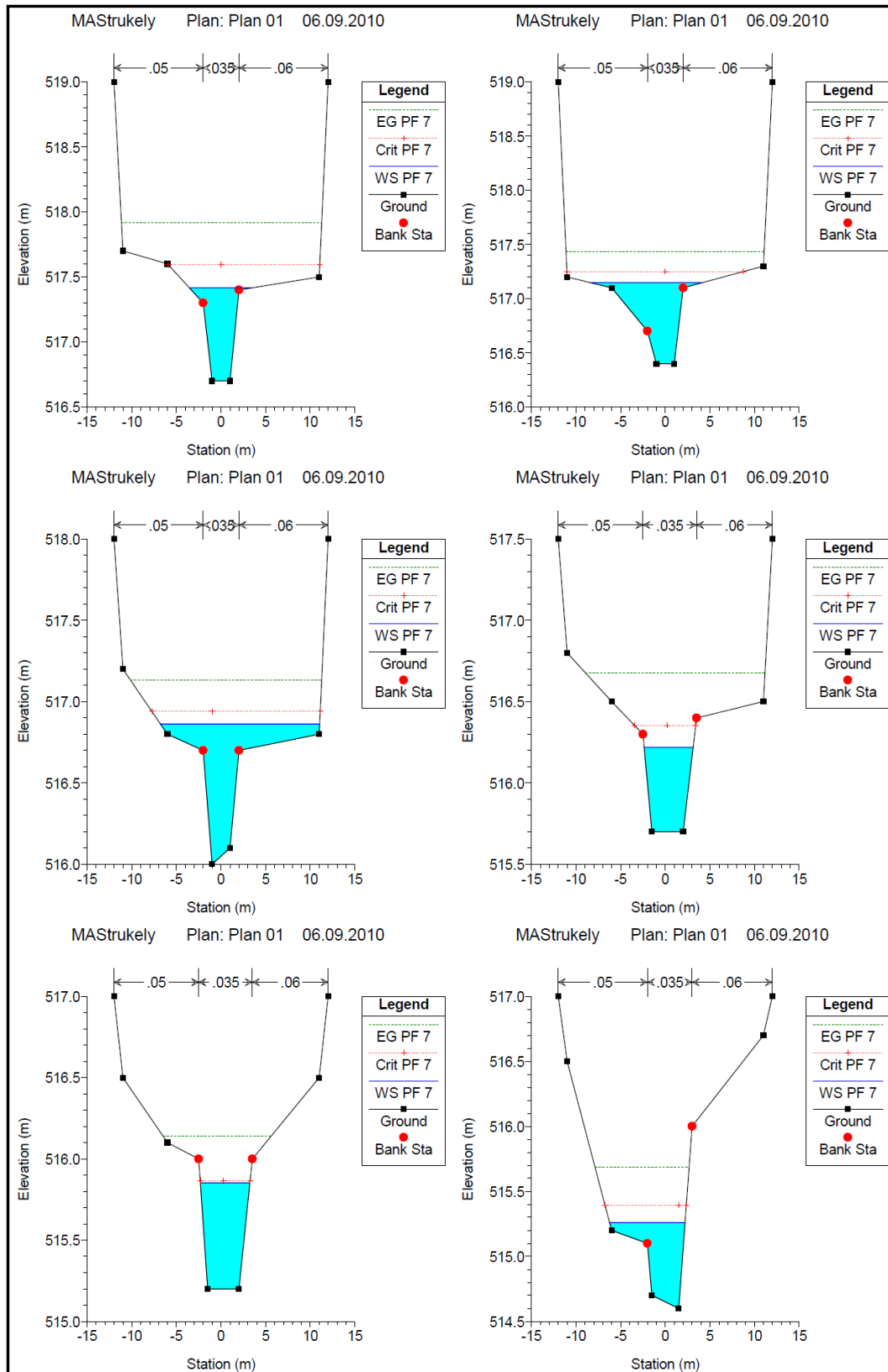
Die Berechnung wurde eindimensional als „mixed“-Modell durchgeführt. Das bedeutet, dass sich sowohl ein strömender, als auch ein schießender Abfluss einstellen kann. Der maximale Abfluss in einem definierten Gerinne ergibt sich, wenn die Energiehöhe ein Minimum erreicht (Vgl. Kapitel 3.5.4). Die Geschwindigkeit, mit welcher dieser Abfluss abgeführt werden kann, nennt man Grenzgeschwindigkeit v_{gr} . Wird in einem Gerinne eine höhere Geschwindigkeit als v_{gr} erreicht, spricht man von schießendem Abfluss, bei geringeren Geschwindigkeiten von strömendem Abfluss.

Anschließend an die tabellarischen Berechnungsergebnisse werden am Beispiel des Abflusses „Profile 7“ ($7 \text{ m}^3/\text{s}$) alle Querprofile inklusive der dabei berechneten Wasserspiegellinie dargestellt.

| River Station | Profile | Q Total (m3/s) | Min Ch El (m) | W.S. Elev (m) | Crit W.S. (m) | E.G. Elev (m) | E.G. Slope (m/m) | Vel Chnl (m/s) | Flow Area (m2) | Top Width (m) | Froud Chl |
|---------------|---------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|----------------|----------------|---------------|-----------|
| 10 | 1 | 1 | 516,7 | 516,95 | 516,97 | 517,09 | 0,030029 | 1,7 | 0,59 | 2,76 | 1,18 |
| 10 | 2 | 2 | 516,7 | 517,07 | 517,12 | 517,3 | 0,030046 | 2,12 | 0,94 | 3,14 | 1,24 |
| 10 | 3 | 3 | 516,7 | 517,16 | 517,23 | 517,45 | 0,029999 | 2,4 | 1,25 | 3,43 | 1,27 |
| 10 | 4 | 4 | 516,7 | 517,24 | 517,32 | 517,59 | 0,030012 | 2,61 | 1,53 | 3,67 | 1,29 |
| 10 | 5 | 5 | 516,7 | 517,31 | 517,44 | 517,71 | 0,030034 | 2,79 | 1,79 | 3,99 | 1,31 |
| 10 | 6 | 6 | 516,7 | 517,37 | 517,56 | 517,82 | 0,030035 | 2,97 | 2,04 | 4,83 | 1,33 |
| 10 | 7 | 7 | 516,7 | 517,42 | 517,59 | 517,91 | 0,030024 | 3,14 | 2,32 | 6,99 | 1,35 |
| 10 | 8 | 8 | 516,7 | 517,46 | 517,65 | 518 | 0,030025 | 3,3 | 2,7 | 11,33 | 1,36 |
| 10 | 9 | 9 | 516,7 | 517,49 | 517,71 | 518,07 | 0,030021 | 3,43 | 3,18 | 15,08 | 1,38 |
| 10 | 10 | 10 | 516,7 | 517,53 | 517,75 | 518,13 | 0,030044 | 3,54 | 3,66 | 16,02 | 1,39 |
| 9 | 1 | 1 | 516,4 | 516,7 | 516,66 | 516,78 | 0,013306 | 1,23 | 0,81 | 3,43 | 0,81 |
| 9 | 2 | 2 | 516,4 | 516,83 | 516,8 | 516,95 | 0,012716 | 1,55 | 1,35 | 4,9 | 0,84 |
| 9 | 3 | 3 | 516,4 | 516,94 | 516,9 | 517,08 | 0,011629 | 1,72 | 1,94 | 6,12 | 0,83 |
| 9 | 4 | 4 | 516,4 | 517,03 | 516,99 | 517,19 | 0,01014 | 1,79 | 2,6 | 7,25 | 0,79 |
| 9 | 5 | 5 | 516,4 | 517,06 | 517,07 | 517,27 | 0,013252 | 2,1 | 2,8 | 7,56 | 0,91 |
| 9 | 6 | 6 | 516,4 | 517,09 | 517,1 | 517,35 | 0,015567 | 2,35 | 3,05 | 7,93 | 0,99 |
| 9 | 7 | 7 | 516,4 | 517,15 | 517,25 | 517,43 | 0,015372 | 2,48 | 3,62 | 12,77 | 1 |
| 9 | 8 | 8 | 516,4 | 517,18 | 517,29 | 517,5 | 0,016264 | 2,64 | 4,11 | 16,01 | 1,04 |
| 9 | 9 | 9 | 516,4 | 517,21 | 517,33 | 517,55 | 0,017292 | 2,8 | 4,55 | 17,96 | 1,08 |
| 9 | 10 | 10 | 516,4 | 517,23 | 517,36 | 517,6 | 0,017875 | 2,91 | 5,01 | 19,09 | 1,1 |
| 8 | 1 | 1 | 516 | 516,32 | 516,32 | 516,44 | 0,021466 | 1,52 | 0,66 | 2,83 | 1,01 |
| 8 | 2 | 2 | 516 | 516,46 | 516,46 | 516,63 | 0,019414 | 1,83 | 1,09 | 3,27 | 1,01 |
| 8 | 3 | 3 | 516 | 516,58 | 516,58 | 516,79 | 0,018356 | 2,02 | 1,49 | 3,62 | 1,01 |
| 8 | 4 | 4 | 516 | 516,67 | 516,67 | 516,91 | 0,017905 | 2,18 | 1,84 | 3,91 | 1,01 |
| 8 | 5 | 5 | 516 | 516,79 | 516,85 | 517,01 | 0,012567 | 2,09 | 2,88 | 16,02 | 0,88 |
| 8 | 6 | 6 | 516 | 516,85 | 516,9 | 517,07 | 0,011982 | 2,17 | 3,8 | 17,62 | 0,87 |
| 8 | 7 | 7 | 516 | 516,86 | 516,94 | 517,13 | 0,014318 | 2,41 | 4,1 | 17,84 | 0,95 |
| 8 | 8 | 8 | 516 | 516,89 | 516,98 | 517,18 | 0,014899 | 2,54 | 4,64 | 18,24 | 0,98 |
| 8 | 9 | 9 | 516 | 516,92 | 517,01 | 517,22 | 0,014964 | 2,62 | 5,23 | 18,67 | 0,99 |
| 8 | 10 | 10 | 516 | 516,95 | 517,04 | 517,26 | 0,014946 | 2,69 | 5,79 | 19,07 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 515,7 | 515,89 | 515,9 | 515,98 | 0,023323 | 1,35 | 0,74 | 4,23 | 1,03 |
| 7 | 2 | 2 | 515,7 | 515,96 | 516 | 516,15 | 0,031154 | 1,89 | 1,06 | 4,51 | 1,24 |
| 7 | 3 | 3 | 515,7 | 516,02 | 516,09 | 516,28 | 0,03533 | 2,25 | 1,33 | 4,73 | 1,36 |
| 7 | 4 | 4 | 515,7 | 516,07 | 516,17 | 516,4 | 0,0381 | 2,54 | 1,57 | 4,92 | 1,44 |
| 7 | 5 | 5 | 515,7 | 516,1 | 516,23 | 516,54 | 0,048525 | 2,97 | 1,69 | 5,01 | 1,63 |
| 7 | 6 | 6 | 515,7 | 516,15 | 516,29 | 516,63 | 0,044394 | 3,05 | 1,97 | 5,22 | 1,59 |
| 7 | 7 | 7 | 515,7 | 516,22 | 516,35 | 516,68 | 0,036657 | 3 | 2,33 | 5,48 | 1,47 |
| 7 | 8 | 8 | 515,7 | 516,28 | 516,42 | 516,74 | 0,032531 | 3 | 2,67 | 5,71 | 1,4 |
| 7 | 9 | 9 | 515,7 | 516,34 | 516,52 | 516,8 | 0,029001 | 3 | 3,01 | 6,49 | 1,34 |
| 7 | 10 | 10 | 515,7 | 516,39 | 516,57 | 516,85 | 0,026377 | 3,02 | 3,37 | 7,51 | 1,3 |
| 6 | 1 | 1 | 515,2 | 515,39 | 515,4 | 515,49 | 0,026303 | 1,41 | 0,71 | 4,08 | 1,08 |
| 6 | 2 | 2 | 515,2 | 515,51 | 515,51 | 515,64 | 0,019871 | 1,65 | 1,21 | 4,45 | 1,01 |
| 6 | 3 | 3 | 515,2 | 515,59 | 515,6 | 515,77 | 0,019942 | 1,89 | 1,59 | 4,71 | 1,04 |
| 6 | 4 | 4 | 515,2 | 515,66 | 515,67 | 515,88 | 0,018825 | 2,04 | 1,96 | 4,95 | 1,03 |
| 6 | 5 | 5 | 515,2 | 515,71 | 515,74 | 515,98 | 0,02116 | 2,28 | 2,19 | 5,1 | 1,11 |
| 6 | 6 | 6 | 515,2 | 515,79 | 515,81 | 516,06 | 0,018078 | 2,29 | 2,62 | 5,35 | 1,04 |
| 6 | 7 | 7 | 515,2 | 515,85 | 515,87 | 516,14 | 0,017436 | 2,37 | 2,95 | 5,54 | 1,04 |
| 6 | 8 | 8 | 515,2 | 515,89 | 515,92 | 516,22 | 0,01867 | 2,53 | 3,17 | 5,66 | 1,08 |
| 6 | 9 | 9 | 515,2 | 515,92 | 515,97 | 516,29 | 0,019947 | 2,68 | 3,36 | 5,77 | 1,12 |
| 6 | 10 | 10 | 515,2 | 515,95 | 516,02 | 516,36 | 0,021421 | 2,84 | 3,52 | 5,86 | 1,17 |
| 5 | 1 | 1 | 514,6 | 514,86 | 514,87 | 514,97 | 0,025491 | 1,48 | 0,67 | 3,47 | 1,08 |
| 5 | 2 | 2 | 514,6 | 514,95 | 514,99 | 515,15 | 0,030263 | 2 | 1 | 3,68 | 1,23 |
| 5 | 3 | 3 | 514,6 | 515,04 | 515,09 | 515,29 | 0,027891 | 2,23 | 1,34 | 3,89 | 1,22 |
| 5 | 4 | 4 | 514,6 | 515,11 | 515,21 | 515,42 | 0,027116 | 2,44 | 1,64 | 4,6 | 1,22 |
| 5 | 5 | 5 | 514,6 | 515,19 | 515,28 | 515,51 | 0,024521 | 2,55 | 2,09 | 7,59 | 1,19 |
| 5 | 6 | 6 | 514,6 | 515,22 | 515,34 | 515,61 | 0,027076 | 2,79 | 2,38 | 8,25 | 1,26 |
| 5 | 7 | 7 | 514,6 | 515,26 | 515,39 | 515,69 | 0,028094 | 2,97 | 2,7 | 8,44 | 1,3 |
| 5 | 8 | 8 | 514,6 | 515,3 | 515,44 | 515,75 | 0,027864 | 3,07 | 3,04 | 8,64 | 1,3 |
| 5 | 9 | 9 | 514,6 | 515,34 | 515,48 | 515,81 | 0,027828 | 3,18 | 3,36 | 8,82 | 1,31 |
| 5 | 10 | 10 | 514,6 | 515,37 | 515,52 | 515,87 | 0,027927 | 3,28 | 3,66 | 8,99 | 1,32 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|-------|--------|--------|--------|----------|------|------|-------|------|
| 4 | 1 | 1 | 514,2 | 514,39 | 514,42 | 514,52 | 0,031793 | 1,59 | 0,63 | 3,47 | 1,19 |
| 4 | 2 | 2 | 514,2 | 514,54 | 514,54 | 514,69 | 0,019613 | 1,73 | 1,16 | 3,82 | 1 |
| 4 | 3 | 3 | 514,2 | 514,64 | 514,65 | 514,83 | 0,017952 | 1,93 | 1,58 | 5,58 | 0,99 |
| 4 | 4 | 4 | 514,2 | 514,7 | 514,76 | 514,94 | 0,019603 | 2,19 | 1,98 | 8,03 | 1,06 |
| 4 | 5 | 5 | 514,2 | 514,74 | 514,82 | 515,03 | 0,022365 | 2,46 | 2,31 | 8,38 | 1,14 |
| 4 | 6 | 6 | 514,2 | 514,79 | 514,87 | 515,1 | 0,021755 | 2,57 | 2,75 | 8,8 | 1,14 |
| 4 | 7 | 7 | 514,2 | 514,83 | 514,92 | 515,17 | 0,021738 | 2,69 | 3,14 | 9,15 | 1,15 |
| 4 | 8 | 8 | 514,2 | 514,87 | 514,97 | 515,23 | 0,022086 | 2,81 | 3,49 | 9,45 | 1,17 |
| 4 | 9 | 9 | 514,2 | 514,91 | 515,01 | 515,29 | 0,022324 | 2,91 | 3,83 | 9,73 | 1,18 |
| 4 | 10 | 10 | 514,2 | 514,94 | 515,05 | 515,34 | 0,022489 | 3,01 | 4,16 | 10 | 1,2 |
| 3 | 1 | 1 | 513,6 | 513,95 | 513,92 | 514,04 | 0,01592 | 1,38 | 0,72 | 2,85 | 0,88 |
| 3 | 2 | 2 | 513,6 | 514,04 | 514,07 | 514,24 | 0,025178 | 2,01 | 0,99 | 3,1 | 1,14 |
| 3 | 3 | 3 | 513,6 | 514,14 | 514,18 | 514,4 | 0,025156 | 2,28 | 1,32 | 3,38 | 1,16 |
| 3 | 4 | 4 | 513,6 | 514,24 | 514,34 | 514,53 | 0,021608 | 2,37 | 1,74 | 6,44 | 1,11 |
| 3 | 5 | 5 | 513,6 | 514,32 | 514,4 | 514,61 | 0,019889 | 2,47 | 2,42 | 10,73 | 1,08 |
| 3 | 6 | 6 | 513,6 | 514,36 | 514,46 | 514,68 | 0,020175 | 2,6 | 2,94 | 10,91 | 1,1 |
| 3 | 7 | 7 | 513,6 | 514,41 | 514,51 | 514,75 | 0,020565 | 2,73 | 3,4 | 11,07 | 1,12 |
| 3 | 8 | 8 | 513,6 | 514,44 | 514,54 | 514,8 | 0,020791 | 2,83 | 3,83 | 11,22 | 1,13 |
| 3 | 9 | 9 | 513,6 | 514,48 | 514,58 | 514,85 | 0,021016 | 2,93 | 4,23 | 11,36 | 1,15 |
| 3 | 10 | 10 | 513,6 | 514,51 | 514,62 | 514,9 | 0,021221 | 3,02 | 4,61 | 11,48 | 1,16 |
| 2 | 1 | 1 | 513,3 | 513,58 | 513,57 | 513,69 | 0,019377 | 1,47 | 0,68 | 2,87 | 0,96 |
| 2 | 2 | 2 | 513,3 | 513,72 | 513,72 | 513,88 | 0,019429 | 1,82 | 1,1 | 3,29 | 1,01 |
| 2 | 3 | 3 | 513,3 | 513,83 | 513,83 | 514,03 | 0,017566 | 2 | 1,52 | 4,67 | 0,99 |
| 2 | 4 | 4 | 513,3 | 513,93 | 513,96 | 514,15 | 0,014997 | 2,09 | 2,18 | 8,33 | 0,94 |
| 2 | 5 | 5 | 513,3 | 513,98 | 514,05 | 514,24 | 0,016403 | 2,3 | 2,66 | 10,2 | 0,99 |
| 2 | 6 | 6 | 513,3 | 514,04 | 514,1 | 514,31 | 0,01611 | 2,4 | 3,25 | 10,94 | 0,99 |
| 2 | 7 | 7 | 513,3 | 514,09 | 514,15 | 514,37 | 0,016008 | 2,49 | 3,77 | 11,13 | 1 |
| 2 | 8 | 8 | 513,3 | 514,13 | 514,19 | 514,42 | 0,016071 | 2,58 | 4,24 | 11,31 | 1,01 |
| 2 | 9 | 9 | 513,3 | 514,17 | 514,25 | 514,47 | 0,015769 | 2,64 | 4,73 | 11,48 | 1 |
| 2 | 10 | 10 | 513,3 | 514,21 | 514,3 | 514,51 | 0,015326 | 2,69 | 5,27 | 16,36 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 512,9 | 513,18 | 513,18 | 513,27 | 0,021973 | 1,39 | 0,72 | 3,75 | 1,01 |
| 1 | 2 | 2 | 512,9 | 513,27 | 513,3 | 513,44 | 0,025837 | 1,83 | 1,09 | 4,24 | 1,15 |
| 1 | 3 | 3 | 512,9 | 513,33 | 513,39 | 513,58 | 0,030644 | 2,19 | 1,37 | 4,56 | 1,28 |
| 1 | 4 | 4 | 512,9 | 513,38 | 513,47 | 513,7 | 0,034883 | 2,5 | 1,6 | 4,82 | 1,39 |
| 1 | 5 | 5 | 512,9 | 513,45 | 513,54 | 513,79 | 0,031677 | 2,58 | 1,94 | 5,17 | 1,34 |
| 1 | 6 | 6 | 512,9 | 513,51 | 513,61 | 513,87 | 0,029806 | 2,67 | 2,25 | 5,61 | 1,32 |
| 1 | 7 | 7 | 512,9 | 513,56 | 513,67 | 513,94 | 0,027351 | 2,74 | 2,59 | 6,8 | 1,29 |
| 1 | 8 | 8 | 512,9 | 513,61 | 513,73 | 514,01 | 0,025353 | 2,8 | 2,97 | 7,93 | 1,26 |
| 1 | 9 | 9 | 512,9 | 513,66 | 513,78 | 514,07 | 0,02388 | 2,85 | 3,37 | 8,97 | 1,24 |
| 1 | 10 | 10 | 512,9 | 513,7 | 513,82 | 514,13 | 0,023137 | 2,92 | 3,76 | 9,83 | 1,23 |

Querprofile 10-5



Querprofile 4-1

