

# DIPLOMARBEIT

## Master Thesis

### Möglichkeiten zur Bewertung des Schadenspotentials beim Versagen von Stauanlagen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter TSCHERNUTTER**

und als verantwortlichen mitwirkenden Assistenten

**Univ.Ass. Dipl.-Ing. Michael BERGER, BSc**

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

E 222

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

Forschungsbereich für Wasserbau

von

DI Markus TRÖTHANN, BSc

0828379

Hermannsgasse 27/27

1070 Wien

Wien, am 03.10.2017

.....  
Markus TRÖTHANN



## **I KURZFASSUNG**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Auswirkungen von möglichen Versagensszenarien von Stauanlagen auf den Menschen. Dabei kommen unterschiedliche Ansätze zur Anwendung, welche die Anzahl der Opfer eines solchen Versagensszenarios abschätzen sollen. Dabei handelt es sich keineswegs um eine genaue Ermittlung von Opferzahlen, vielmehr soll durch eine Gegenüberstellung von unterschiedlichen Ansätzen eine Bandbreite von möglichen Opfern ermittelt werden.

Am Beginn der Arbeit wird ein Überblick über historische Ereignisse geschaffen, welche das Verständnis für die Modelle zur Abschätzung der Opferzahlen verbessern soll. Dabei wird erklärt, weshalb es zu Todesopfern bei einem Sperrenversagen kommt und welche Parameter die Opferzahlen wesentlich beeinflussen.

Im Folgenden werden Modelle zur Abschätzung von Opferzahlen erläutert. Diese werden hinsichtlich ihrer Anwendung und Grenzen beschrieben. Im Anschluss werden zwei ausgewählte Methoden an zwei Fallbeispielen angewendet. Dabei werden die Gebiete der Fallbeispiele im ersten Schritt hinsichtlich ihrer Bevölkerungsdichte sowie den jährlichen Schwankungen der Personen im Gebiet (z.B. durch Tourismus) untersucht. Im Folgenden wird, aufbauend auf Flutwellensimulationen, jener Anteil der Bevölkerung, welcher von einem möglichen Sperrenbruch gefährdet ist, ermittelt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Thematik der Warnung und der Evakuierung gelegt.

Die Ergebnisse der Fallbeispiele werden interpretiert und die Unterschiede der beiden Methoden hervorgehoben. Dabei erfolgt neben der Einschätzung der Plausibilität der Ergebnisse auch eine Einschätzung bezüglich der Anwendungsgrenzen.



## **II ABSTRACT**

This work focuses on effects, which appear due to possible failure scenarios of dams, on human beings. In order to evaluate these effects there are numerous methods available to estimate the number of fatalities of such an event. These methods are not able to estimate the exact number of fatalities but they give a good insight on the damage-potential of dams. The output of those methods are magnitudes of possible fatalities which makes it possible to compare different dams.

In order to get a better understanding of these methods an overview of historic events is being presented. In addition to that, the important parameters, which influence the number of fatalities are shown. Hence, the differences according to warning and evacuation and how they influence the number of fatalities can be described.

The methods for estimating the loss of life due to dam failure are described according to their limitations and application. Additionally, two selected methods are applied to two case studies. The areas of these case studies are described according to their population density and the fluctuations of people inside the area of interest (e.g. due to tourism). Afterwards the part of the population which is endangered by the dam failure is determined by means of floodwave-simulations. Thereby a special focus is being set on the process of warning and evacuation.

The results of the case studies are interpreted and the differences between them are emphasised. An assessment of the applicability and a verification of the plausibility is made. With that analyses, a comparison between those two methods according to their reliability and workload is achieved.



### III INHALTSVERZEICHNIS

**I KURZFASSUNG C**

---

**II ABSTRACT E**

---

**III INHALTSVERZEICHNIS G**

---

**KAPITEL 1 – EINLEITUNG 1**

---

1.1 VORWORT .....	3
1.2 ZIELE DER ARBEIT .....	4

**KAPITEL 2 – HISTORISCHE VERSAGENSFÄLLE 5**

---

2.1 ST. FRANCIS DAM – LOS ANGELES – 1928 .....	7
2.2 NORDSEE STURMFLUT – NL, B, GB – 1953 .....	11
2.2.1 NIEDERLANDE .....	11
2.2.2 BELGIEN .....	13
2.2.3 GROSSBRITANNIEN .....	14
2.3 BALDWIN HILLS DAM – ARCADIA (KALIFORNIEN) – 1963 .....	15
2.4 VAJONT STAUMAUER – ITALIEN – 1963 .....	16
2.5 BUFFALO CREEK COAL WASTE DAM – WEST VIRGINIA – 1972 .....	18
2.6 CANYON LAKE DAM – SOUTH DAKOTA – 1972 .....	20
2.7 BANQIAO DAMM – ZHUMADIAN (CHINA) – 1975 .....	22
2.8 TETON DAM – IDAHO – 1976 .....	26
2.9 LAUREL RUN DAM – PENNSYLVANIA – 1977 .....	27
2.10 STAVA DAMM – ITALIEN – 1985 .....	28
2.11 QUAIL CREEK DIKE – UTAH – 1989 .....	30
2.12 HURRICANE KATERINA – NEW ORLEANS – 2005 .....	31
2.13 ZUSAMMENFASSUNG DER EREIGNISSE .....	33
2.13.1 BUFFALO CREEK COAL WASTE DAM .....	33
2.13.2 TETON DAM .....	34
2.13.3 GEWONNENE ERKENNTNISSE .....	37

**KAPITEL 3 – ANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG VON OPFERZAHLEN 47**

3.1 EINLEITUNG.....	49
3.2 GRAHAM METHODE .....	52
3.2.1 BROWN UND GRAHAM (1989).....	52
3.2.2 DEKAY UND MCCLELLAND (1993) .....	63
3.2.3 GRAHAM METHODE (DSO-99-06) .....	67
3.3 JONKMAN METHODE .....	82
3.3.1 ALLGEMEINE HERANGEHENSWEISE.....	82
3.3.2 ANDERE IN DEN NIEDERLANDEN ENTWICKELTE METHODEN .....	88
3.3.3 ANWENDUNG / HERLEITUNG DER METHODE VON JONKMAN .....	95
3.4 RESCDAM LOL METHODE .....	119
3.4.1 EIGENSCHAFTEN DER RESCDAM LOL METHODE .....	119
3.5 EHSAN METHODE .....	123
3.5.1 PARAMETER.....	123
3.6 LIFESIM .....	130
3.6.1 LOSS-OF-SHELTER MODULE.....	131
3.6.2 WARNING AND EVACUATION MODULE .....	132
3.6.3 LOSS-OF-LIFE MODULE .....	134
3.6.4 VEREINFACHTES LIFESIM – HEC-FIA .....	134

**KAPITEL 4 – ANWENDUNG DER METHODEN 137**

4.1 EINLEITUNG.....	139
4.2 STAUANLAGE KARTELL – ST. ANTON AM ARLBERG .....	140
4.2.1 ANLAGENBESCHREIBUNG .....	140
4.2.2 EIGENSCHAFTEN DES UNTERSUCHTEN GEBIETS.....	141
4.2.3 FLUTWELLEN.....	150
4.2.4 GRAHAM METHODE .....	153
4.2.5 JONKMAN METHODE.....	179
4.3 HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN MARIASDORF .....	205
4.3.1 ANLAGENBESCHREIBUNG .....	205
4.3.2 EIGENSCHAFTEN DES UNTERSUCHTEN GEBIETS.....	205
4.3.3 FLUTWELLEN.....	206
4.3.4 GRAHAM METHODE.....	209
4.3.5 JONKMAN METHODE.....	221

4.4 VERGLEICH DER METHODEN .....	232
4.4.1 OPFERRATEN .....	232
4.4.2 ANWENDUNG DER METHODEN .....	234
4.5 FAZIT .....	235
<b><u>A</u>    <u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b> .....	<b>I</b>
A1 BÜCHER UND ARTIKEL .....	I
A2 UNIVERSITÄTSARBEITEN .....	II
A3 NORMEN UND RICHTLINIEN .....	II
A4 ONLINEQUELLEN .....	IV
<b><u>B</u>    <u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u></b> .....	<b>IX</b>
<b><u>C</u>    <u>TABELLENVERZEICHNIS</u></b> .....	<b>XII</b>
<b><u>D</u>    <u>DIAGRAMMVERZEICHNIS</u></b> .....	<b>XV</b>



# **KAPITEL 1**

## **– EINLEITUNG**



## 1.1 VORWORT

Stauanlagen werden aus den unterschiedlichsten Gründen errichtet. Weltweit wird ein Großteil der Anlagen zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung errichtet. Weitere Nutzungsarten wären etwa die Energieerzeugung, Bewässerung sowie der Hochwasserschutz. In Österreich werden Stauanlagen auch oft für die Beschneigung von Skigebieten errichtet. Im Versagensfall solcher Anlagen ist eine Großzahl an Menschen, aber auch Tiere und Infrastruktur, von der Flutwelle betroffen. Aus diesem Grund unterliegen Stauanlagen sehr hohen Sicherheitsanforderungen.

Die Absperrbauwerke selbst können dabei in unterschiedlichster Form und Ausführung vorliegen. Dabei kommen Betonsperren sowie Erd- bzw. Steinschüttdämme zur Anwendung. Oft werden diese Bauwerke als Querverbauten zur Speicherung von Wasser herangezogen, allerdings gewinnen auch Begleitdämme von Flüssen und Hochwasserrückhaltebecken immer mehr an Bedeutung. Gerade diese Bauwerke, welche die Bevölkerung vor Hochwässern schützen sollten, stellen im Versagensfall eine potentielle Gefahr für die Bevölkerung dar. Trotz der hohen Sicherheitsanforderungen bleibt immer ein gewisses Restrisiko, weshalb ein Sperrenversagen nicht mit hundertprozentiger Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Auswirkungen eines Sperrenversagens auf das Leben von Menschen. Dabei werden unterschiedliche Methoden zur Abschätzung der Opferzahlen erörtert. Die Entwicklung dieser Methoden begann Anfang der 1990er Jahre und wurde zunächst vor allem von den USA und den Niederlanden vorangetrieben. Die Methoden dieser Länder wurden dabei unabhängig voneinander entwickelt. Die amerikanische Methode ist dabei eine Antwort auf viele Versagensfälle in den 1970er Jahren, wohingegen die niederländische Methode auf Basis einer Sturmflut in der Nordsee eingeführt wurde. Beide Methoden sollen dabei die möglichen Auswirkungen eines Versagens aufzeigen und auf Risiken hinweisen. Im Laufe der Zeit wurden international weitere Ansätze entwickelt. Bei diesen neueren Methoden handelt es sich allerdings zumeist um Erweiterungen der ursprünglichen Methoden aus den USA und den Niederlanden.

Zu Beginn der Arbeit werden historische Versagensfälle beschrieben und die daraus gewonnenen Erkenntnisse dargestellt. Dies soll dem besseren Verständnis der Methoden selbst dienen und aufzeigen, aus welchen Gründen einige Versagensfälle verheerender waren als andere.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Methoden selbst beschrieben. Dabei wird versucht, die unterschiedlichen Entwicklungsschritte der Methoden darzustellen. Des Weiteren ist hier zu erwähnen, dass keine dieser Methoden exakte Opferzahlen berechnen kann. Vielmehr

kann eine Größenordnung der potentiellen Opfer angegeben werden, was einen Vergleich unterschiedlicher Stauanlagen ermöglicht.

Im Hauptteil der Arbeit werden zwei ausgewählte Methoden zur Abschätzung der Opferzahlen an zwei konkreten Fallbeispielen angewendet. Bei den Fallbeispielen handelt es sich um eine Stauanlage in St. Anton am Arlberg, Tirol und ein Hochwasserrückhaltebecken in Marisdorf, Burgenland. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Fallbeispiele miteinander verglichen und interpretiert, wobei auf wesentliche Unterschiede und Grenzen der Methoden eingegangen wird.

## **1.2 ZIELE DER ARBEIT**

In der vorliegenden Arbeit werden unterschiedlichen Ansätze zur Abschätzung der Opferzahlen miteinander verglichen und ihre Eigenschaften sowie Grenzen beschrieben. Dazu dienen in erster Linie zwei Fallbeispiele, an welchen unterschiedliche Ansätze angewendet werden. Die Fallbeispiele unterscheiden sich hinsichtlich der Größe und Nutzung der Sperrenbauwerke sowie der Topographie und Bevölkerungsdichte.

Bei der Berechnung werden mehrere Szenarien untersucht, welche die Jahreszeit, Tageszeit, Warnungen und Evakuierungen beinhalten sollen. Dadurch kann für jedes Versagensszenario in den beiden Fallbeispielen die Auswirkung der Flutwellenparameter (Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit) berücksichtigt werden.

Im Zuge der Arbeit sollen weiters die Besonderheiten der einzelnen Ansätze zur Opferzahlenermittlung sowie der Fallbeispiele herausgearbeitet werden. Weiters sollen die Anwendungsgrenzen der einzelnen Ansätze aufgezeigt werden und Auswirkungen von unterschiedlichen Flutwellenanalysen auf die Opferzahlen untersucht werden. Abschließend soll ein Vergleich der Opferzahlen die Besonderheiten der einzelnen Fallbeispiele darstellen.

# **KAPITEL 2 – HISTORISCHE VERSAGENSFÄLLE**



## 2.1 ST. FRANCIS DAM – LOS ANGELES – 1928

Die St. Francis-Talsperre befand sich etwa 60 km nord-nordwestlich von Los Angeles, USA. Es handelte sich dabei um eine gekrümmte Gewichtsstaumauer aus Beton mit einer Höhe von 57 m und einem Stauinhalt von  $4,7 \cdot 10^7 \text{ m}^3$  Wasser zum Zeitpunkt des Versagens.

In der Nacht vom 12. März auf den 13. März 1928 versagte das Sperrenbauwerk rund zwei Jahre nach seiner Fertigstellung und die Flutwelle wanderte 86 km in Richtung des pazifischen Ozeans. Der gesamte Abflussvorgang dauerte dabei rund 5,5 Stunden. Grund des Versagens war der ungeeignete Baugrund. Das linke Widerlager der Sperre befand sich zum Teil auf einer alten Hangrutschung. Aufgrund der unzureichenden Baugrunderkundung wurde jenes Sicherheitsrisiko unterschätzt. Hinzu kommt, dass der Damm während der Bauphase um 6 m erhöht wurde, ohne aber die Breite seiner Aufstandsfläche zu erhöhen.

Beim Versagen dieser Stauanlage kann man durchaus von einem Worst-Case-Szenario sprechen. Die Sperre versagte sowohl plötzlich, als auch mitten in der Nacht. Es wurden keine Warnungen ausgesprochen, obwohl bereits vor dem Bruch besorgniserregende Wasseraustritte zu erkennen waren (siehe Abb. 2.1). Am Tag vor dem Versagen verständigten besorgte Einwohner den Architekten des Staudamms, William Mulholland, damit er sich ein Bild über die Lage machen konnte. Mulholland unterschätzte die Lage allerdings und meinte, dass die Wasseraustritte normal wären. Nur 12 Stunden später versagte die Sperre und binnen 72 Minuten entleerte sich das gesamte Reservoir. Der Aufseher des Damms hatte keine Möglichkeit eine Warnung abzusetzen, da er mit seiner Familie unmittelbar unterhalb der Sperre lebte und wohl zu den ersten Opfern des Sperrenversagens zählte.

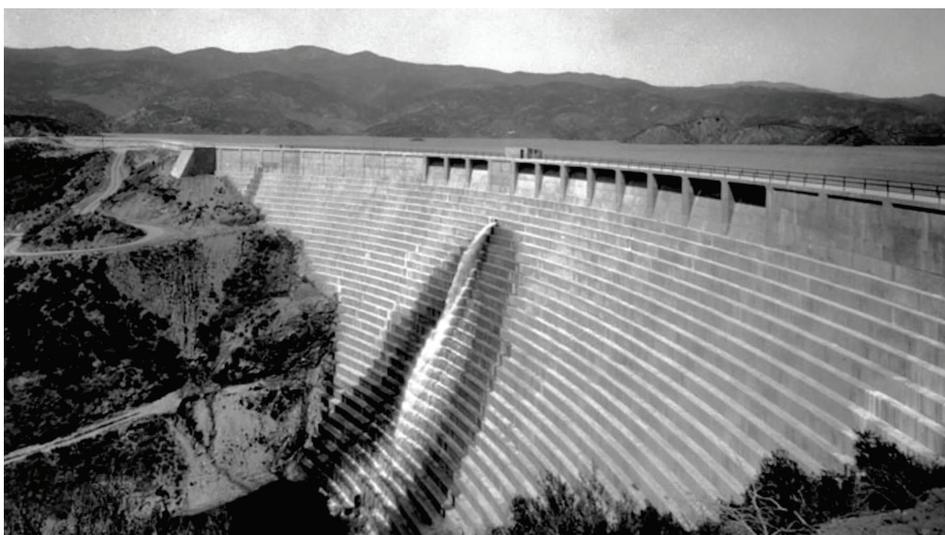


Abb. 2.1: Wasseraustritte St. Francis Dam<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Terrifying World (13.04.2015): Southern California's Great Disaster - The St. Francis Dam, URL: [https://www.youtube.com/watch?v=H9NCBSgM\\_H0](https://www.youtube.com/watch?v=H9NCBSgM_H0) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Das Büro des Sheriffs von Ventura County wurde um ca. 01:30 Uhr über das Versagen informiert. Danach wurden Warnungen an lokale Polizeistationen, Telefonunternehmen und die Highway Patrol weitergegeben. Die Warnungen wurden durch Sirenen, Durchsagen und via Telefon übermittelt. Die Überschwemmungen waren auf der gesamten Länge von der Sperrenstelle bis zum pazifischen Ozean beträchtlich. Die Flutwelle bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h im Bereich der Sperre und mit 10 km/h in der Nähe des pazifischen Ozeans. In Summe befanden sich etwa 3.000 Menschen in unmittelbarer Gefahr und etwa 420 Opfer zu beklagen. Die Opferrate über das gesamte Gebiet war mit einem Wert von 0,14 sehr hoch.<sup>2, 3</sup>

Warum die Opferrate so hoch war ist bei der Betrachtung zweier Orte leicht zu erklären.<sup>4</sup>

- **Powerhouse No. 2:**

Das Krafthaus befand sich ungefähr 2 km stromabwärts des Damms im San Francisquito Canyon. Die Flutwelle erreichte das Gebäude bereits 5 Minuten nach dem Versagen der Sperre. Das Wasser bildete an dieser Stelle eine rund 36 m hohe Wand welche das 18 m hohe Gebäude total zerstörte. Die folgenden Abbildungen (Abb. 2.2 und Abb. 2.3) zeigen das Powerhouse No. 2 vor und nach dem Unglück. Die folgende Aussage eines Augenzeugen ist verständlich:

*„crushed like an eggshell“<sup>5</sup>*

Es lebten 28 Arbeiter mit ihren Familien vor Ort, nur 3 überlebten die Katastrophe.



**Abb. 2.2: Ansicht Powerhouse No. 2 vor dem Unglück<sup>6</sup>**



**Abb. 2.3: Ansicht Powerhouse No. 2 nach dem Unglück<sup>7</sup>**

<sup>2</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding, URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.6-9

<sup>3</sup> Case Study: St. Francis Dam (California, 1928), URL: <http://damfailures.org/case-study/st-francis-dam-california-1928/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>4</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding, URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.7-8

<sup>5</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding, URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.7

<sup>6</sup> Abbildung, URL: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/cd/9d/dc/cd9ddcf8250f271591ce454782c85956.jpg> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>7</sup> Abbildung, URL: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/a5/13/db/a513db2ab651025471b34a8e11e2b8ff.jpg> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

- **Edison Construction Camp:**

Etwa 30 km stromabwärts befand sich ein temporäres Zeltlager in welchem rund 150 Personen untergebracht waren. Die Flutwelle an dieser Stelle wurde als etwa 18 m hohe Wassermauer beschrieben. Ein Versuch die Männer zu warnen scheiterte. Erst ein Aussichtsposten des Lagers bemerkte die Flut und versuchte die schlafenden Männer zu wecken. Leider kam diese Warnung für die meisten zu spät. Die Zahl der Opfer wird auf 84 Personen geschätzt. Abb. 2.4 zeigt das Lager nach dem Unglück.



**Abb. 2.4: Ansicht Edison Construction Camp nach dem Unglück<sup>8</sup>**

Mulholland, der Architekt der Sperre, war ein angesehener Mann, der mit innovativen und visionären Projekten dafür sorgte, die Wasserknappheit in Los Angeles zu verbessern. Mit dem Bau der ersten Wasserversorgungsleitung für Los Angeles gelang ihm dies auch. Noch während des Baus wuchs die Bevölkerung von 284.000 auf 425.000 Personen an. Der St. Francis Damm war der größte Speicher dieses Wasserversorgungsnetzes. Nach der Katastrophe übernahm Mulholland, beim Untersuchungsverfahren (Coroner's Inquest), die volle Verantwortung für die Katastrophe:<sup>9</sup>

*„Don't blame anyone else, you just fasten it on me. If there was an error in human judgment, I was the human.“<sup>10</sup>*

---

<sup>8</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding,

URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.9

<sup>9</sup> Rogers, D. J.: The St. Francis Dam Failure,

URL: [http://web.mst.edu/~rogersda/st\\_francis\\_dam/reassessment\\_of\\_st\\_francis\\_dam\\_failure.pdf](http://web.mst.edu/~rogersda/st_francis_dam/reassessment_of_st_francis_dam_failure.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.3-4

<sup>10</sup> Rogers, D. J.: The St. Francis Dam Failure,

URL: [http://web.mst.edu/~rogersda/st\\_francis\\_dam/reassessment\\_of\\_st\\_francis\\_dam\\_failure.pdf](http://web.mst.edu/~rogersda/st_francis_dam/reassessment_of_st_francis_dam_failure.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.103

Eine der wichtigsten Schlussfolgerungen des Untersuchungsausschusses war, dass es in Zukunft keinen Bau oder Betrieb eines großen Damms geben darf, bei dem nur eine Person Entscheidungen trifft, ganz egal wie gut und angesehen er ist.

*„ [...] the construction and operation of a great dam should never be left to the sole judgment of one man, no matter how eminent [...] ”<sup>11</sup>*

Vielleicht war Mulholland zu voreilig, zu innovativ oder einfach seiner Zeit zu weit voraus. Mit seinen Konstruktionen ermöglichte er das Wachstum und das Bestehen von Los Angeles. Noch heute stellen seine Bauten einen Teil der Wasserversorgung der Stadt sicher. Nach der Katastrophe legte Mulholland alle seine Ämter nieder.

Tabelle 2.1.1 gibt einen kurzen Überblick über die Ereignisse beim St. Francis Dam.

**Tabelle 2.1.1: Übersicht St. Francis Dam<sup>12</sup>**

<b>Warnzeit</b>	Keine beim Powerhouse No. 2 und dem Edison Construction Camp
<b>Tageszeit</b>	Kurz nach Mitternacht
<b>Fehlerursache</b>	Plötzliches Versagen
<b>Opfer</b>	420
<b>Opferrate</b>	>90 % beim Powerhouse No. 2 56 % beim Edison Construction Camp 14 % im gesamten Gebiet
<b>Dammhöhe</b>	57 m
<b>Stausee</b>	4,7·10 <sup>7</sup> km <sup>3</sup> Wasser während des Bruchs freigesetzt
<b>Zeit des Bruchvorgangs</b>	Sofortiges Versagen

<sup>11</sup> Rogers, D. J.: The St. Francis Dam Failure,  
URL: [http://web.mst.edu/~rogersda/st\\_francis\\_dam/reassessment\\_of\\_st\\_francis\\_dam\\_failure.pdf](http://web.mst.edu/~rogersda/st_francis_dam/reassessment_of_st_francis_dam_failure.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.104

<sup>12</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding,  
URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.9

## 2.2 NORDSEE STURMFLUT – NL, B, GB – 1953

Vermutlich eine der tragischsten Ereignisse der Nachkriegszeit in Europa. Diese Katastrophe ist in den Niederlanden auch als „De Ramp“ (deutsch: Die Katastrophe), in England als „Great North Sea Flood“ (deutsch: Große Nordseeflut) bekannt. In der Nacht vom 31. Jänner zum 1. Februar 1953 kommt es zu einem Ereignis in Europa, welches wegweisend für die Bewertung eines Schadenspotentials bei Überflutungen ist und die Basis von vielen Methoden bildet.

Nach offiziellen Angaben kamen in den Niederlanden 1.836 Menschen, in Großbritannien 307 Menschen, in Belgien 14 Menschen und auf See 224 Menschen ums Leben. Die Ursache dieser Katastrophe war eine unglückliche Kombination einer Springtide (durch eine besondere Sonne-Erde-Mond-Konstellation fallen die Gezeiten stärker aus als Normal) und eines Sturms. Dadurch stieg die Nordsee in Großbritannien bis zu 3 m (King's Lynn in Norfolk 2,97 m) und in den Niederlanden bis zu 5 m (Kruiningen 5,25 m) an.<sup>13, 14, 15</sup>

### 2.2.1 NIEDERLANDE

Durch die enormen Wasserstände wurden zahlreiche Deiche überströmt und brachen. Allein in den Niederlanden brachen in dieser Nacht 89 Dämme auf einer Länge von 187 km. Eine Fläche von etwa 2.000 km<sup>2</sup> wurde dabei überflutet (siehe Abb. 2.5).

Eine größere Katastrophe blieb aus, da „Schielands Hoge Zeedijk“, ein Damm entlang der Maas, trotz kleinerer Verbrüche den Wassermassen standhielt.

Weiters war der Wasserstand in den Flüssen zur Zeit der ersten Damnbrüche relativ niedrig war, da die Flut nicht auf ihrem Höchststand war. Diese Tatsache hat wohl auch einen noch schlimmeren Ausgang der Katastrophe verhindert.

Am Morgen des 1. Februar war das Ausmaß der Katastrophe für die Außenwelt zuerst noch nicht ersichtlich, da sowohl Verkehrsverbindungen zerstört waren als auch der Radiofunk nicht mehr funktionierte. Aus diesem Grund liefen erste Hilfeinsätze nur sehr schleppend und in sehr kleinen Maßstäben an.

Die Situation verschlimmerte sich, als sich gegen Mittag eine zweite Flut ereignete. Die bereits zerstörten Dämme, boten keinen Schutz mehr und jene Häuser, welche die erste Flut überstanden hatten wurden zerstört. Diese zweite Flutwelle forderte auch die meisten Todesopfer.<sup>14, 15</sup>

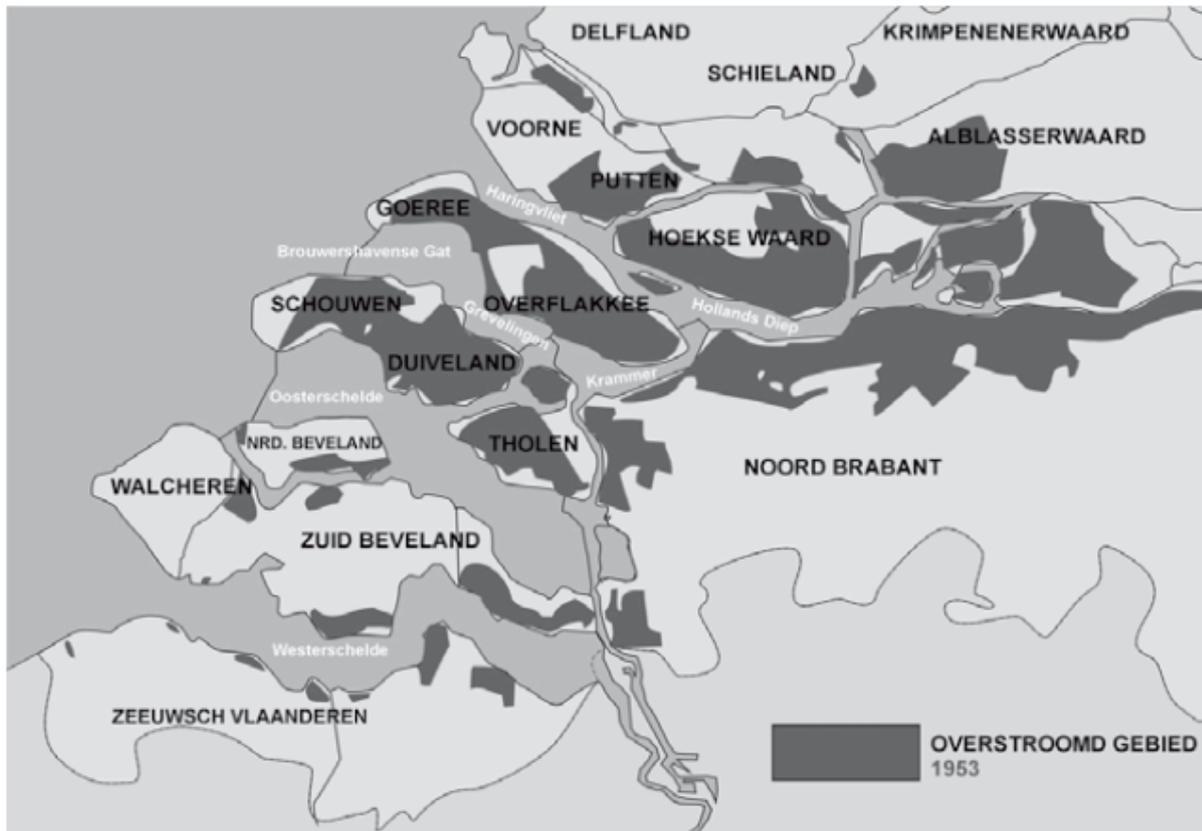
---

<sup>13</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.155 - 158

<sup>14</sup> Deltawerken online: Die Hochwasserkatastrophe von 1953 – Die Folgen, URL: <http://www.deltawerken.com/Folgen/577.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>15</sup> Wikipedia: Flutkatastrophe von 1953, URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe\\_von\\_1953](https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe_von_1953) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Am 2. Februar 1953 kam eine großangelegte Hilfsaktion in Gang. Erst zu diesem Zeitpunkt wurde das wahre Ausmaß der Zerstörung durch die Flut ersichtlich. Bereits am 3. Februar waren 12.000 Soldaten im Hilfseinsatz.<sup>16</sup>



**Abb. 2.5: Überschwemmungsgebiete der Nordsee-Sturmflut in den Niederlanden<sup>17</sup>**

Um eine solche Katastrophe in Zukunft zu verhindern entstanden in den Niederlanden die Deltawerke, welche von der American Society of Civil Engineers zu einem der sieben Weltwunder der Neuzeit im Bereich Bauingenieurwesen erklärt wurde<sup>18</sup>. Bei den Deltawerken handelt es sich um eine Reihe von Bauwerken, welche das Flussdelta der Waal von der Nordsee abschotten können und so verhindern, dass Sturmfluten ins Landesinnere gelangen können. Dabei wurde das Land nicht nur abgesichert, sondern auch neues Land geschaffen. Mit dem Bau der Zuiderzeewerke, einem Teil der Deltawerke im Norden des Landes, wurde die 12. Provinz, Flevoland, der Niederlande geschaffen. Dabei wurden etwa 1.500 km<sup>2</sup> Neuland geschaffen. Die Maeslant-Sperre (Maeslantkering) und die Oosterschelde-Sperre (Oosterscheludedam) sind wohl die zwei berühmtesten Teile der Deltawerke (siehe Abb. 2.6, Abb. 2.7, Abb. 2.8)

<sup>16</sup> Deltawerken online: Die Hochwasserkatastrophe von 1953 – Die Rettung, URL: <http://www.deltawerken.com/Die-Rettung/576.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>17</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S. 155

<sup>18</sup> 7 wonders: Delta Works, Netherlands, URL: <http://www.7wonders.org/europe/netherlands/rotterdam/delta-works/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)



Abb. 2.6: Ansicht der „Maeslantkering“<sup>19</sup>



Abb. 2.7: Ansicht des „Oosterscheldedam“<sup>20</sup>



Abb. 2.8: Ansicht Stahltor des „Oosterscheldedam“<sup>20</sup>

## 2.2.2 BELGIEN

Auch in Belgien sorgte die Nordsee-Sturmflut für Überschwemmungen, nachdem schützende Seedeiche brachen. Von der 66 km langen Küste wurden 4,6 km stark beschädigt und die Stadt Oostende stand bis zu 2 m tief unter Wasser. In dieser Stadt war auch die Opferzahl mit 7 Todesopfern am höchsten. In Summe starben 14 Menschen in dieser Nacht. Abb. 2.9 gibt dabei einen guten Überblick über die Situation in Belgien.<sup>21, 22</sup>

<sup>19</sup> Rotterdam experience: Delta Works Tour, Abbildung, URL: <http://rotterdamexperience.com/tour/delta-works/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>20</sup> Eigene Aufnahme vom 12.11.2016

<sup>21</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.157

<sup>22</sup> Wikipedia: Flutkatastrophe von 1953, URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe\\_von\\_1953](https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe_von_1953) (letzter Zugriff: 03.10.2017)



Abb. 2.9: Überschwemmungsgebiete der Nordsee-Sturmflut in Belgien<sup>23</sup>

### 2.2.3 GROSSBRITANNIEN

Die Nordsee-Sturmflut traf die Ostküste Großbritanniens und rund 307 Menschen verloren dabei ihr Leben. Da auch hier die Hilfsleistungen nur sehr schleppend anliefen mussten viele Menschen die Nacht im Freien verbringen. Von den 307 Opfern starben mindestens 12 an Unterkühlung.

Es wurde ein Gebiet von 728 km<sup>2</sup> überschwemmt, aus welchem etwa 32.000 Menschen evakuiert werden konnten. Etwa 24.000 Häuser wurden beschädigt. Abb. 2.10 zeigt das Überschwemmte Gebiet.<sup>24, 25</sup>



Abb. 2.10: Überschwemmungsgebiete der Nordsee-Sturmflut in Großbritannien<sup>26</sup>

<sup>23</sup> Wikipedia: Abbildung, URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Belgien1953.png> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>24</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.157

<sup>25</sup> Wikipedia: Flutkatastrophe von 1953, URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe\\_von\\_1953](https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe_von_1953) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>26</sup> Wikipedia: Abbildung, URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/Flooding.png> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

## 2.3 BALDWIN HILLS DAM – ARCADIA (KALIFORNIEN) – 1963

Der Baldwin-Hills-Speicher war eine Stauanlage, die sich aus einem Hauptdamm und drei miteinander verbundenen Nebendämmen zusammensetzte. Die Sperre war 70 m hoch und hatte eine Kronenlänge von 200 m. Das Speichervolumen betrug etwa  $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Am Samstag, den 14. Dezember 1963, versagte der Damm aufgrund von Setzungen und daraus resultierenden inneren Erosionen und Piping. Der Damm war bereits 12 Jahre lang in Betrieb.

Der Damm versagte um 15:38 Uhr. Erste Wasseraustritte wurden bereits um 11:15 Uhr festgestellt, weshalb die Bevölkerung schon frühzeitig gewarnt werden konnte. Allerdings wurde zu diesem Zeitpunkt noch keine Evakuierung veranlasst, da noch versucht wurde, den Speicherinhalt über das Entlastungsgerinne zu reduzieren. Das Abstauen führte um 12:20 Uhr zu leichten Überschwemmungen von Straßen. Um 13:45 Uhr wurde dann der Entschluss gefasst, die Gebiete stromabwärts zu evakuieren. Gebiete wurden abgesperrt und Warnungen wurden über Eilmeldungen der Medien, Polizisten die von Haus zu Haus gingen und von Polizeihubschraubern mittels Megaphonen übermittelt.

Ungefähr 800 m stromabwärts befand sich die Stadt Village Green. Alle 5 Opfer lebten in der Nachbarschaft von Village Green, darunter 3 Opfer die gemeinsam mit dem Auto unterwegs waren und von der Flut überrascht wurden.

Vor der Evakuierung des Gebiets waren rund 16.500 Menschen in Gefahr. Nach den Evakuierungsmaßnahmen blieben zumindest 1.000 Menschen in ihren Häusern. Die Flutwelle hatte eine Höhe von etwa 10 m kurz nach dem Damm und weiter stromabwärts eine Höhe von 1,5 bis 2,5 m mit einer Geschwindigkeit von 32 km/h.<sup>27</sup>

Tabelle 2.3.1 gibt einen kurzen Überblick mit den wichtigsten Kenndaten der Ereignisse beim Baldwin Hills Dam.

**Tabelle 2.3.1: Übersicht Baldwin Hills Dam<sup>27</sup>**

<b>Warnzeit</b>	01:50
<b>Tageszeit</b>	Tag
<b>Fehlerursache</b>	Setzungen die zu innerer Erosion führten
<b>Opfer</b>	5
<b>Opferrate</b>	0,0003
<b>Dammhöhe</b>	70 m
<b>Stausee</b>	$1 \cdot 10^6$ Kubikmeter Wasser während des Bruchs freigesetzt
<b>Zeit des Bruchvorgangs</b>	Ungefähr 04:50 Uhr wenn die Wasseraustritte um 11:15 Uhr als der Beginn des Versagens herangezogen werden

<sup>27</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding,  
 URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017),  
 S.9-12

## 2.4 VAJONT STAUMAUER – ITALIEN – 1963

Die Vajont Staumauer wurde 1959 nahe der Stadt Longarone errichtet. Es handelt sich dabei um eine Bogenstaumauer mit einer Höhe von 262 m und einer Kronenlänge von 191 m.

Am 9. Oktober 1963 um etwa 22:40 Uhr kommt es zu einer Katastrophe. Ein  $2,68 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  großer Bergrutsch des Berges Monte Toc rutscht innerhalb von 20 bis 30 Sekunden in das Reservoir der Sperre. Die damals zweitgrößte Staumauer der Welt überstand dies unbeschädigt, doch entstand durch den Bergrutsch eine Flutwelle von  $5 \cdot 10^7 \text{ m}^3$  Wasser. Die Welle verwüstete die am Stausee liegenden Städte Eto und Casso, sowie die 2 km unterhalb der Sperre liegende Stadt Longarone. Etwa 2.000 Menschen kamen dabei ums Leben, 1.269 davon in Longarone, was einer Opferrate von 94 % in dieser Stadt entspricht. Weiter stromabwärts in Belluno hielten Dämme entlang des Flusses den Großteil der Wassermassen zurück, weshalb hier nur wenige Opfer zu beklagen waren. Der Vorfall ereignete sich ohne Vorwarnung, was die hohe Opferrate erklärt.

Die Mauer selbst überstand die Katastrophe unbeschädigt, doch staut sie heute kein Wasser mehr auf. Spätere Berechnungen zeigten, dass der Druck der Welle auf den Damm in etwa dem doppelten der Hiroshima Atombombe entsprach.<sup>28, 29, 30</sup>

Die Abbildungen (Abb. 2.11, Abb. 2.12, Abb. 2.13) zeigen die Staumauer sowie das Schadensausmaß in Longarone, wo nur der stehende Kirchturm an eine Ortschaft erinnert.

In Tabelle 2.4.1 sind die wichtigsten Kenndaten der Katastrophe in Vajont gelistet.

---

<sup>28</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, *U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office*, S.1

<sup>29</sup> Duff, M. (2013): Italy Vajont anniversary: Night of the 'tsunami', *BBC News*, URL: <http://www.bbc.com/news/world-europe-24464867> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>30</sup> Wikipedia: Vajont Dam, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vajont\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Vajont_Dam) (letzter Zugriff: 03.10.2017)



Abb. 2.11: Bild von Longarone nach dem Unglück<sup>31</sup>



Abb. 2.12: Ansicht Vajont Damm<sup>32</sup>



Abb. 2.13: Stausee nach dem Hangrutsch<sup>33</sup>

Tabelle 2.4.1: Übersicht Vajont Damm

Warnzeit	Keine
Tageszeit	Später Abend
Fehlerursache	Überströmen
Opfer	2.000
Opferrate	0,94 in Longarone
Dammhöhe	262 m
Stausee	5·10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup> wurden freigesetzt

<sup>31</sup> Wikipedia: Abbildung, URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Longarone\\_Pirago.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Longarone_Pirago.jpg) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>32</sup> Wikipedia: Abbildung, URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Diga\\_del\\_vajont\\_1963.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Diga_del_vajont_1963.jpg) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>33</sup> Wikipedia: Abbildung, URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Disastro\\_Vajont.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Disastro_Vajont.jpg) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

## 2.5 BUFFALO CREEK COAL WASTE DAM – WEST VIRGINIA – 1972

Beim Buffalo Creek Coal Waste Dam handelt es sich um eine Stauanlage zur Wasserhaltung in einem Kohleabbaubetrieb. Die insgesamt 4 Dämme wurden primär zur Sedimentation von Feinteilen aus dem Brauchwasser des Kohleabbaus errichtet.

Am 26. Februar 1972 sowie an den Tagen davor kam es zu starken Regenfällen. Hinzu kam, die für diese Jahreszeit typische Schneeschmelze.

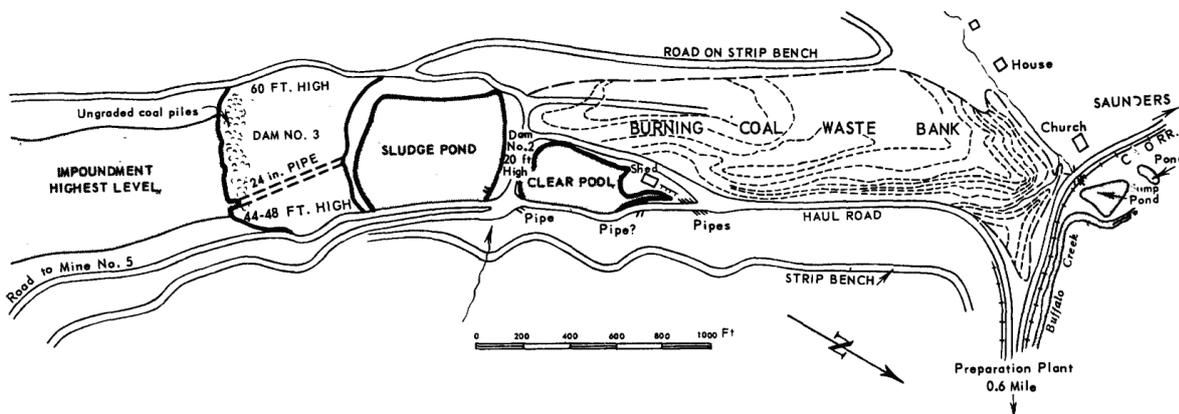


Abb. 2.14: Übersicht des Mienenkomplexes<sup>34</sup>

Im Zuge einer Anlagenerneuerung wurde im Jahre 1969 mit dem Bau von Damm Nr. 3 begonnen, welcher 1971 seine endgültige Höhe von 18 m erreichte. Nach Fertigstellung kam es immer wieder zu Setzungen des Damms, welche von der Krone wieder verfüllt wurden.

Am Tag des Versagens des Damms, berichten Augenzeugen, dass der Damm vollkommen Wassergesättigt („real soggy“) war. Wasseraustritte aus dem Reservoir von Damm Nr. 3 führten dazu, dass Damm Nr. 2 um 07:30 Uhr überströmt wurde. Um 07:59 Uhr versagte Damm Nr.3 endgültig und etwa  $5 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup> „Wasser“ (in Augenzeugenberichten als schwarze Suppe bezeichnet) wurden innerhalb von 15 Minuten freigesetzt. Was auch zum Versagen von Damm Nr. 2 geführt hat. In den Abbildungen (Abb. 2.15 und Abb. 2.16) ist das Ausmaß der Flutwelle zu erkennen.

<sup>34</sup> Davies, W. E.; Bailey, J. F.; Kelly, D. B. (1972): West Virginia's Buffalo Creek Flood: A Study of the Hydrology and Engineering Geology, U.S. Department of the Interior, URL: <https://pubs.usgs.gov/circ/1972/0667/report.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.3

Abb. 2.15: Auswirkungen des Dammbbruchs 1<sup>35</sup>Abb. 2.16: Auswirkungen des Dammbbruchs 2<sup>35</sup>

Obwohl Verantwortungsträger der Kohlemiene von der Gefahr informiert wurden, gaben sie keine Warnungen an die Bevölkerung stromabwärts der Miene aus. Es wurde trotz der ersichtlichen Gefahr keine Evakuierung eingeleitet. Einige Einwohner erkannten jedoch die Gefahr und brachten sich selbst in Sicherheit.

Von der entstandenen Flutwelle waren 16 Kleinstädte mit einer Gesamtbevölkerung von rund 5.000 Personen betroffen. Durch die Flutwelle verloren 125 Menschen ihr Leben.<sup>36, 35</sup>

Tabelle 2.5.1 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Eckdaten des Ereignisses.

Tabelle 2.5.1: Übersicht Buffalo Creek Coal Waste Dam

<b>Warnzeit</b>	Keine
<b>Tageszeit</b>	Morgen
<b>Fehlerursache</b>	Überströmen von Damm Nr. 2 Setzungen und Dammgleiten von Damm Nr. 3
<b>Opfer</b>	125
<b>Opferrate</b>	0,025
<b>Damm Höhe</b>	18 m
<b>Stausee</b>	5 · 10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> Wasser während des Bruchs freigesetzt

<sup>35</sup> West Virginia Division of Culture and History: Buffalo Creek, URL: <http://www.wvculture.org/history/buffcreek/buff1.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>36</sup> Davies, W. E.; Bailey, J. F.; Kelly, D. B. (1972): West Virginia's Buffalo Creek Flood: A Study of the Hydrology and Engineering Geology, U.S. Department of the Interior, URL: <https://pubs.usgs.gov/circ/1972/0667/report.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017),

## 2.6 CANYON LAKE DAM – SOUTH DAKOTA – 1972

Der Canyon Lake Dam war ein Erddamm mit einer Höhe von 6 m, welcher 1938 zur Gestaltung eines Erholungsgebiets errichtet wurde. Die Kronenlänge betrug 150 m und das Reservoirvolumen wies  $2,4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  Wasser auf. Der Damm befand sich unmittelbar stromaufwärts von Rapid City am Rapid Creek.

Am 9. Juni 1972 nahm eine Tragödie ihren Lauf, die später auch als „Black Hills Flood“ in der Stadt Rapid City bekannt wurde. Aufgrund einer ungewöhnlichen Wetterlage kam es zu außerordentlich starken Regenfällen im Bereich der Black Hills.

Bereits um 09:00 Uhr morgens wurden erste Prognosen über ein starkes Gewitter, für den Nachmittag desselben Tages, erstellt. Erste Warnungen über das Unwetter wurden zur Mittagszeit veröffentlicht. Während des Nachmittags entwickelten sich zwei Gewitterzellen und um 19:15 Uhr wurde eine Hochwasserwarnung für die nördlichen Gebiete der Black Hills herausgegeben. Um 22:30 Uhr wurden erste Evakuierungen von tiefliegenden Gebieten eingeleitet. Bereits 15 Minuten darauf, um 22:45 Uhr, versagte der Canyon Lake Dam.

Die starken Regenfälle im Zusammenspiel mit Treibholz, welches die Entlastungsgerinne des Damms blockierten, führten dazu, dass der Wasserspiegel um fast 4 m und das Reservoirvolumen auf rund  $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  anstieg. Um 22:00 Uhr führte der steigende Wasserspiegel zum Überströmen des Damms. Wasser strömte 45 Minuten lang über den Damm, bis dieser komplett versagte. Am 10. Juni um 00:15 Uhr erreichte die Flutwelle die 43.000 Einwohnerstadt Rapid City. Die vier Warnsirenen der Stadt wurden nie aktiviert und 238 Menschen starben.<sup>37, 38, 39, 40, 41</sup>

Die Abbildung (Abb. 2.17) zeigt die Bruchstelle des Canyon Lake Dam und in Tabelle 2.6.1 sind die wichtigsten Daten des Ereignisses gelistet.

---

<sup>37</sup> National Weather Service: The Black Hills Flood of 1972, URL: <http://www.weather.gov/unr/1972-06-09> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>38</sup> Case Study: Canyon Lake Dam (South Dakota, 1972), URL: <http://damfailures.org/case-study/canyon-lake-dam-south-dakota-1972/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>39</sup> Wikipedia: 1972 Black Hills flood, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/1972\\_Black\\_Hills\\_flood](https://en.wikipedia.org/wiki/1972_Black_Hills_flood) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>40</sup> Schwarz, F. K.; Hughes, L. A.; Hansen, E. M.; Peteren, M.S.; Kelly, D. B. (1975): The Black Hills – Rapid City Flood of June 9-10: A Description of the Storm and Flood, *U.S. Department of the Interior, U.S. Department of Commerce*, URL: <https://pubs.usgs.gov/pp/0877/report.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>41</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA: Natural Disaster Survey Report 72-1: Black Hills Flood of June 9, 1972, *U.S. Department of Commerce*, URL: [https://www.weather.gov/media/publications/assessments/NDSR\\_72-1.pdf](https://www.weather.gov/media/publications/assessments/NDSR_72-1.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017)



Abb. 2.17: Bruchstelle des Canyon Lake Dam<sup>42</sup>

Tabelle 2.6.1: Übersicht Canyon Lake Dam

<b>Warnzeit</b>	Keine
<b>Tageszeit</b>	Nacht
<b>Fehlerursache</b>	Überströmen
<b>Opfer</b>	238
<b>Opferrate</b>	0,006
<b>Dammhöhe</b>	6 Meter (20 Fuß)
<b>Stausee</b>	1,2·10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> zum Zeitpunkt des Versagens

<sup>42</sup> Case Study: Canyon Lake Dam (South Dakota, 1972), URL: <http://damfailures.org/case-study/canyon-lake-dam-south-dakota-1972/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

## 2.7 BANQIAO DAMM – ZHUMADIAN (CHINA) – 1975

Der weltweit katastrophalste Dammbbruch, oder eigentlich eine ganze Serie von Dammbrüchen, zog sich im August 1975 im Verwaltungsbezirk Zhumadian, in der Provinz Henan, in China zu (siehe Abb. 2.18).

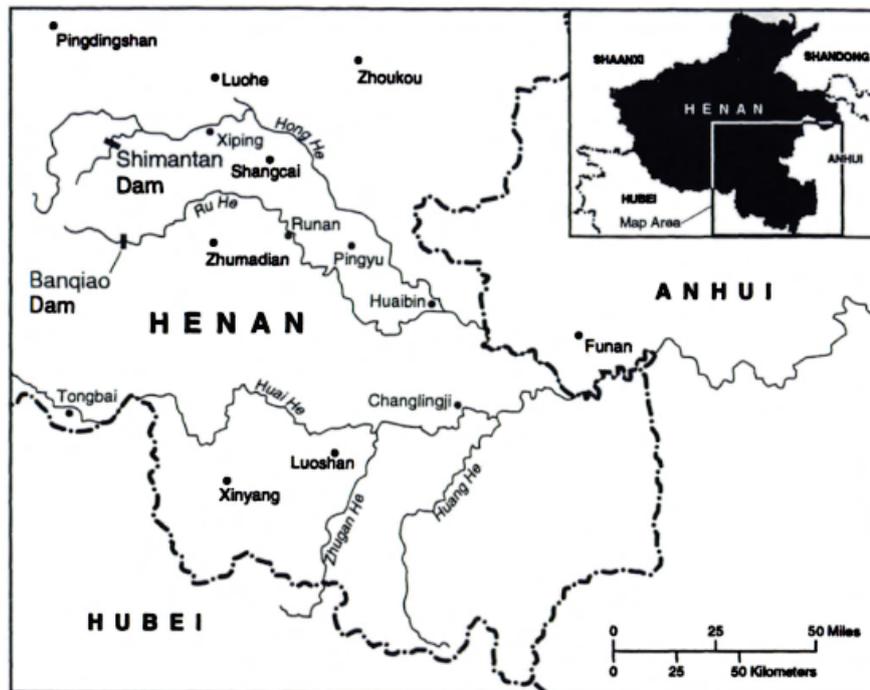


Abb. 2.18: Übersichtskarte Henan<sup>43</sup>

Der Banqiao Damm wurde von April 1951 bis Juni 1952 errichtet. Er war Teil eines Projekts zum Hochwasserschutz und zur Energiegewinnung, welches aufgrund von Überschwemmungen im Huai Flussbecken im den Jahren 1949 und 1950 ins Leben gerufen wurde. Der Bau des Damms wurde dabei ohne hydrologische Daten durchgeführt. 1954 kam es wieder zu einer schweren Flut im Huai Flussbett und der Banqiao Damm wurde erweitert. Der Damm wurde um 3 m erhöht, was zu seiner endgültigen Höhe von 24,5 m führte. Er speicherte dabei  $4,9 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  Wasser und hatte  $3,75 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  Reserve, als Speicher während eines Hochwasserereignisses.

Nach dieser Erweiterung wies der Damm einige Mängel auf und es wurden Risse erkennbar, welche mit Hilfe von sowjetischen Ingenieuren saniert wurden. Danach galt der Damm als unzerstörbar und wurde auch als „Der Eiserner Damm“ („The iron Dam“) bezeichnet. Der Hydrologe Chen Xing hatte allerdings Bedenken betreffend der Sicherheit des Damms und übte öffentliche Kritik, weshalb er vom Projekt abgezogen wurde. Er hatte im ursprünglichen Design 12 Schleusen vorgeschlagen, von diesen wurden allerdings nur 5 errichtet.

<sup>43</sup> Qing, D.; Thibodeau, J. G.; Williams, P. B. (1997): The River Dragon Has Come!, S.27

Der Damm wurde so konstruiert, dass er einem 1.000-jährlichen Hochwasser widerstehen kann. Doch von 5. bis 7. August 1975 wurden Regenfälle gemessen, die einem 2.000-jährlichen Ereignis entsprachen.

Aufgrund der Regenfälle versagte auch die Kommunikation bereits am Abend des 5. Augusts. Am 6. August wurde noch ein Öffnen der Schleusen des Damms abgelehnt, da bereits große Gebiete stromabwärts mit den Wassermassen zu kämpfen hatten. Am 7. August wurde entschieden, die Schleusen zu öffnen, doch das Telegramm konnte nicht zur verantwortlichen Person an der Sperre zugestellt werden. Als die Schleusen schließlich geöffnet wurden, konnte nicht genügend Wasser abgegeben werden, da diese teilweise durch Sedimente blockiert wurden. Bereits am 6. August stand das Wasser über 2 m höher als die als sicher eingestufte Grenze. Am 7. August wurden Warnungen ausgegeben, dass einige Gebiete durch Damnbrüche bedroht sind, doch der Banqiao Damm war nicht Teil dieser Warnung, da er als unzerstörbar galt („The iron dam“). Bis zum nächsten Morgen brachen 62 Dämme, darunter auch der Banqiao Damm (siehe Abb. 2.19). Diese 62 Dämme setzten in Summe etwa  $15,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  Wasser frei.



Abb. 2.19: Ansicht des gebrochenen Damms<sup>44</sup>

Um etwa 01:00 Uhr versuchten noch einige den Damm zu retten. Aus Berichten/Legenden dieser Personen, war ein greller Blitz zu sehen gefolgt von einem lauten Donnern. Stille folgte und der Himmel klarte für einen Moment auf und die Sterne waren zu erkennen. Erleichtert

<sup>44</sup> Nelson, B. (03.07.2013): 9 floods of biblical proportion, *Mother Nature Network*, URL: <http://www.mnn.com/family/protection-safety/photos/9-floods-of-biblical-proportion/banqiao-dam-failure-1975> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

glaubten die Menschen, dass alles überstanden sei („The water level is going down! The flood is retreating!“). Aber nur einige Sekunden später soll der Damm versagt haben. Etwa  $6 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  Wasser wurden in rund 5 Stunden freigesetzt („The river dragon has come!“).

Die Flutwelle wies eine Geschwindigkeit von rund 50 km/h auf und war dabei rund 10 km breit und 3 bis 7 m hoch. Es wurde ein Gebiet von etwa 800 km<sup>2</sup> zerstört (Verwüstetes Gebiet etwa 15x55 km groß). Evakuierungsanweisungen und Warnungen kamen aufgrund der Kommunikationsprobleme nicht überall an und auch die Evakuierung selbst war aufgrund der Wetterverhältnisse stark behindert. Telegramme kamen nie an, Leuchtsignale, welche von der Armee abgeschossen wurden, wurden falsch interpretiert, Telefone gab es nur sehr wenige und noch weniger die auch funktionierten. Personen die Nachrichten überbringen wollten, wurden teilweise selbst von den Fluten erfasst. Noch einen Tag vor der Katastrophe wurden nur Gebiete unmittelbar stromabwärts des Damms gewarnt. Weshalb in Shahedian „nur“ 827 von 6.000 Einwohnern starben, hingegen aber in Wencheng, etwas weiter stromabwärts, rund die Hälfte der 36.000 Einwohner ums Leben kam. Die Ortschaft Daowencheng wurde regelrecht von der Landkarte gelöscht. Alle 9.600 Einwohner starben. Die genauen Opferzahlen sind bis heute nicht geklärt und reichen von 90.000 bis 250.000 Toten. Eine sehr wahrscheinliche Angabe liegt bei 26.000 Opfern durch die Flutwelle selbst und bei 145.000 Toten durch die Folgen (Seuchen, Mangel an Trinkwasser, etc.).<sup>45</sup>

In Abb. 2.20 zeigt die Flutwelle, welche durch den Dambruch erzeugt wurde.



**Abb. 2.20: Bild der Flutwelle<sup>46</sup>**

<sup>45</sup> Goldstein, L. (20.03.2011): ‚Safe‘ power an oxymoron, *Toronto Sun*,

URL: [http://www.torontosun.com/comment/columnists/lorrie\\_goldstein/2011/03/18/17675461.html](http://www.torontosun.com/comment/columnists/lorrie_goldstein/2011/03/18/17675461.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>46</sup> Overseas Kachin Association (30.03.2014): Banqiao Dam Disaster 1975,

URL: <http://overseaskachinassociation21.blogspot.co.at/2014/03/banqiao-dam-disaster-1975.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Ein weiterer Damm, der Suya Lake Damm, welcher  $1,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  Wasser zurückhielt überstand das Unwetter nur durch große Bemühungen. Große Gebiete wurden evakuiert und Dämme von der Armee, durch Luftangriffe, zerstört um das Wasser wegzuleiten.<sup>47, 48, 49</sup>

Tabelle 2.7.1 listet die wichtigsten Parameter der Katastrophe.

**Tabelle 2.7.1: Übersicht Banqiao Damm**

<b>Warnzeit</b>	Keine
<b>Tageszeit</b>	Nacht
<b>Fehlerursache</b>	Überströmen
<b>Opfer</b>	26.000
<b>Opferrate</b>	Unbekannt (in manchen Gebieten 1,0)
<b>Dammhöhe</b>	24,5 m
<b>Stausee</b>	$6 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ (Banqiao Damm) $15,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ von allen 62 Dämmen

<sup>47</sup> Qing, D.; Thibodeau, J. G.; Williams, P. B. (1997): The River Dragon Has Come!, S.32-38

<sup>48</sup> San José State University: The Catastrophic Dam Failures in China August 1975, *Department of Economics*, URL: <http://www.sjsu.edu/faculty/watkins/aug1975.htm> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>49</sup> Wikipedia: Banqiao Dam, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Banqiao\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Banqiao_Dam) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

## 2.8 TETON DAM – IDAHO – 1976

Der Teton-Staudamm brach beim ersten Füllen des Reservoirs am 5. Juni 1976. Es handelte sich dabei um einen 93 m hohen Zonendamm mit einer ca. 30 m tiefen Gründung. Zur Zeit des Versagens befanden sich etwa  $3,1 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  Wasser im Speicher. Ursache des Versagens konnte auf innere Erosion (Piping) zurückgeführt werden.

Das Versagen dieses Damms zeigt auch, wie schnell ein Versagensvorgang eines Damms vonstattengehen kann, sobald sich ein Fehlermechanismus eingestellt hat. In der Nacht zum 5. Juni 1976 wurden kleine Wasseraustritte festgestellt. Um 07:00 Uhr des nächsten Tags hatten sich die kleinen Wasseraustritte zu einer Strömungsröhre ausgeweitet, aus welcher etwa 0,5 bis 1,0  $\text{m}^3/\text{s}$  strömten. Um 10:30 Uhr wurden nach einem lauten Knall starke Wasseraustritte am Fuß des Damms festgestellt. Diese Austritte entwickelten sich sehr schnell zu einer Erosionsröhre mit einem Durchmesser von etwa 2 m, welche rund 10 m in den Damm ragte. Um 11:00 Uhr war bereits ein deutlicher Wirbel im Reservoir zu erkennen. Um 11:57 Uhr kam es zu einer Setzung der Krone ein und das Reservoir konnte sich ungehindert entleeren.

Etwa  $3 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  Wasser wurden in 6 Stunden freigesetzt. Die Flutwelle erreichte die Stadt Wilford, welche rund 13,5 km stromabwärts lag, in etwa 30 Minuten. 6 Menschen kamen dabei ums Leben. Um 13:30 Uhr erreichte die Flutwelle Sugar City, wo sie von Augenzeugen als eine etwa 3,5 bis 4 m hohe „Wand aus Wasser“ beschrieben wurde. Um 14:30 Uhr erreichte sie die Stadt Rexburg, 25 km stromabwärts, wo die Flutwelle in wenigen Minuten rund 2,0 bis 2,5 m hoch wurde.

An diesem Tag kamen 11 Menschen ums Leben, obwohl die Umstände des Versagens kaum besser sein hätten können. Es geschah tagsüber und da es sich um den ersten Einstau des Reservoirs handelte, waren fachkundige Personen vor Ort. Es konnten so bereits 30 Minuten bis zu einer Stunde bevor der Staudamm komplett versagte, Warnungen an die Städte stromabwärts ausgesprochen und 30.000 Menschen evakuiert werden. Einige der Todesfälle ereigneten sich, da Personen nach der Evakuierung wieder in ihre Häuser zurückkehrten, um persönliche Dinge zu holen und anschließend von der Flut überrascht wurden. Von den 11 Toten sind 6 in der Flut ertrunken, 3 erlitten einen Herzinfarkt, 1 Person wurde versehentlich erschossen und eine weitere Person starb durch selbstzugefügte Schusswunden.<sup>50, 51, 52</sup>

Tabelle 2.8.1 zeigt die wesentlichen Daten des Ereignisses.

---

<sup>50</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding,

URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.3-6

<sup>51</sup> UNISYS: 2005 Hurricane/Tropical Data for Atlantic, URL: <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/2005H/index.php> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>52</sup> Case Study: Teton Dam (Idaho, 1976), URL: <http://damfailures.org/case-study/teton-dam-idaho-1976/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

**Tabelle 2.8.1: Übersicht Teton Dam<sup>53</sup>**

<b>Warnzeit</b>	30 Minuten bis 1 Stunde
<b>Tageszeit</b>	Tag (Mittag)
<b>Fehlerursache</b>	Innere Erosion
<b>Opfer</b>	11
<b>Opferrate</b>	0,01 in Wilford, 0,0002 in Rexburg
<b>Damm Höhe</b>	93 m
<b>Stausee</b>	$3 \cdot 10^8$ m <sup>3</sup> Wasser während des Bruchs freigesetzt
<b>Zeit des Bruchvorgangs</b>	01:30

## 2.9 LAUREL RUN DAM – PENNSYLVANIA – 1977

Der Laurel Run Dam war eine Stauanlage am Laurel Run in Pennsylvania, USA, nahe der Stadt Johnstown. Es handelte sich um einen Erddamm mit einer Höhe von 13 m und einer Kronenlänge von 190 m. Für gewöhnlich weist der Speicher ein Speichervolumen von  $3,7 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup> auf. Doch zum Zeitpunkt des Versagens befanden sich aufgrund starker Regenereignisse rund 50 % mehr Wasser im Speicher. Der Speicherinhalt betrug zu diesem Zeitpunkt etwa  $5,6 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup>.

Der Laurel Run Dam war einer von 7 Dämmen, die am 19. und 20. Juli 1977 in dieser Region versagten. Da er das größte Speichervolumen aufwies, forderte er auch die meisten Todesopfer. Die Stauanlage versagte um 02:35 morgens. Die Ursache für das Versagen war ein Überströmen aufgrund von starken Regenfällen. Zu dieser Zeit fielen rund 300 mm/m<sup>2</sup> Regen in 10 Stunden, was einem 5.000- bis 10.000-jährlichen Regenereignis entsprach.

### Zum Vergleich:

Laut österreichischer Unwetterzentrale<sup>54</sup>, fallen in der obersten Unwetterkategorie (starkes Unwetter/Starkregen) in Österreich über 100 mm/m<sup>2</sup> in 24 Stunden. Das Unwetter in Pennsylvania wies somit einen 7,5-mal größeren Wert auf.

Durch den Dambruch kamen, in der im Tal unmittelbar hinter dem Damm liegenden Stadt Tanneryville, 41 Menschen ums Leben. Da der Damm in der Nacht versagte, schliefen die meisten Menschen und es erfolgte keine Warnung der Bevölkerung.

Die Stadt Johnstown wurde ebenfalls stark überschwemmt, jedoch kamen keine Menschen direkt durch die Flut ums Leben. Es kam zum Zusammenbruch des Strom- und Telefonnetzes und in weiterer Folge zu großen Plünderungen in der Stadt. Der Bürgermeister gab den Befehl

<sup>53</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding,

URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.6

<sup>54</sup> Österreichische Unwetterzentrale, URL: <http://www.uwz.at/at/de/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

„shoot to kill“ („Schieße um zu töten“), was bedeutete, dass Plünderer von der Polizei erschossen werden durften. Insgesamt kam es zu mehr als 70 Todesfällen.<sup>55</sup>

Tabelle 2.9.1: Übersicht Laurel Run Dam<sup>56</sup>

Warnzeit	Keine
Tageszeit	Nacht
Fehler Ursache	Überströmen
Opfer	41 durch Laurel Run Dam-Versagen Durch alle 7 Dammbüche rund 45 In der gesamten Region, auch durch Plünderungen mehr als 70
Opferrate	0,27
Damm Höhe	13 m
Stausee	5,6·10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> Wasser während des Bruchs freigesetzt
Zeit des Bruchvorgangs	Ungefähr 04:50, wenn die Wasseraustritte um 11:15 Uhr als der Beginn des Versagens herangezogen werden

## 2.10 STAVA DAMM – ITALIEN – 1985

Es handelte sich dabei um einen Mienenkomplex mit zwei Staudämmen. Die Staubecken dienten als Absetzbecken für Sedimente aus dem Mienenbetrieb. Der untenliegende, ältere der beiden Dämme wurde ursprünglich 9 m hoch geplant, erreichte allerdings 1969 bereits eine Höhe von 25 m. Der obere Damm war 34 m hoch.

Im Jahr 1975 wurde auf Verlangen der Gemeinde Tesero eine Untersuchung der Dämme durchgeführt. Der obere der beiden Dämme wurde als gefährdet eingestuft, da die Böschungsneigung bereits einen Winkel von 40° aufwies. Der beauftragte Sachverständige soll in seinem Bericht erwähnt haben:

*„strano che non sia già caduto“<sup>57</sup>*

*„eigenartig, dass er noch nicht eingestürzt ist“<sup>57</sup>*

Die Mienengesellschaft übergab den Behörden allerdings einen positiven Bericht und durfte den Damm weiterhin erhöhen, mit der Bedingung, dass die Böschungsneigung 39 bis 40 Grad nicht überschreitet.

Am 19. Juli 1985 um etwa 12:20 Uhr versagte dieser Damm. Der Grund dafür war eine Kombination aus mehreren Ereignissen. Ein defektes Drainagerohr, welches nicht sachgemäß repariert wurde, sowie starke Regenfälle in Verbindung mit der jährlichen Schneeschmelze

<sup>55</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding,  
URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017),  
S.12-13

<sup>56</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding,  
URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.13

<sup>57</sup> Foundation Stava 1985: Causes, URL: <http://www.stava1985.it/stava1985/html/10/30/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

störten das prekäre Gleichgewicht des oberen Damms und die Böschung versagte. Das Versagen des oberen Damms, führte ebenfalls zu einem Bruch des unteren Damms. Eine Flutwelle mit rund  $2 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  Wasser, Schlamm und Sand floss das Stava-Tal, bis in den Touristenort Tesero, hinab. Die Angaben von Todesopfern reichen bis 361, offiziell bestätigt wurden 268 Tote. Dies entspricht etwa 90 % der anwesenden Personen.

Es gab keine Warnungen, obwohl der Damm schon einige Tage zuvor beunruhigende Risse aufwies. Es lag sogar ein Bericht vor, dass bereits im Herbst des Vorjahres Schadstellen des Damms erkennbar waren. Auch Hilfsmaßnahmen liefen nur sehr schleppend an.<sup>58, 59</sup>

In den Abbildungen (Abb. 2.21 und Abb. 2.22) sind die beiden Dämme vor ihrem Versagen und danach abgebildet. Tabelle 2.10.1 gibt einen Überblick über die Fakten des Ereignisses.

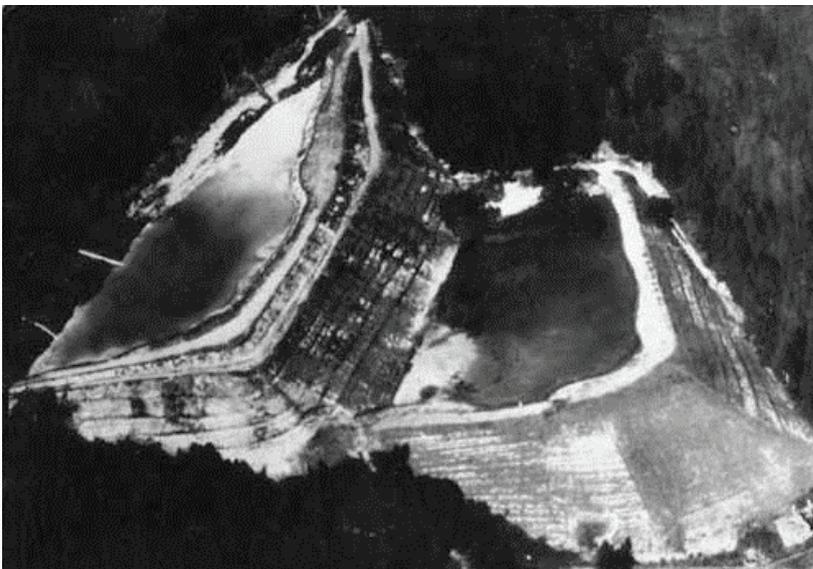


Abb. 2.21: Ansicht der beiden Dämme<sup>60</sup>



Abb. 2.22: Ansicht des versagten Damms<sup>61</sup>

Tabelle 2.10.1: Übersicht Stava Damm

Warnzeit	Keine
Tageszeit	Mittag
Fehlerursache	Überschreiten des maximalen Böschungswinkels
Opfer	268
Opferrate	0,9
Dammhöhe	34 m
Stausee	$2 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ wurden freigesetzt

<sup>58</sup> SPIEGEL-Verlag (22.07.1985): Katastrophen: Ende der Welt, URL: <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-13515877.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>59</sup> Bressan, D. (2011): July 19, 1985: The Val di Stava dam collapse, *Scientific American*, URL: <https://blogs.scientificamerican.com/history-of-geology/httpblogsscientificamericancomhistory-of-geology20110719july-19-1985-the-val-di-stava-dam-collapse/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>60</sup> Foundation Stava 1985: The Tailings Dams, URL: <http://www.stava1985.it/stava1985/html/10/10/40/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>61</sup> Foundation Stava 1985: The Failure, URL: <http://www.stava1985.it/stava1985/html/10/20/10/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

## 2.11 QUAIL CREEK DIKE – UTAH – 1989

Der 24 m hohe Damm versagte am 1. Jänner 1989 um 00:08 Uhr. Beim Versagen des Damms wurden rund  $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  Wasser aus dem etwa  $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  großen Reservoir freigesetzt. Augenzeugenberichten zufolge konnten bereits erste Anzeichen des Versagens am Tag zuvor festgestellt werden. So wird etwa von größeren Sickerwasseraustritten am der Luftseite des Damms berichtet.

Der Betreiber des Damms arbeitete bereits 12 Stunden vor dem Versagen daran, den Damm zu stabilisieren. Wasseraustritte von 95 l/min wurden gemessen. Am späten Nachmittag verständigte der Dammbetreiber die Behörden, dass sie sich auf eventuelle Evakuierungen vorbereiten sollten, da schlammige Sickerwässer festgestellt wurden. Um 23:00 Uhr stiegen die Wasseraustritte auf 2.270 l/min an. Kurz darauf, um 00:08 Uhr versagte der Damm. Es sind keine Opfer zu beklagen, da erste Evakuierungsmaßnahmen bereits am späten Nachmittag eingeleitet wurden. 1.500 Menschen konnten in Sicherheit gebracht werden.<sup>62, 63</sup>

In Tabelle 2.11.1 werden die wesentlichen Parameter des Quail Creek Dike zusammengefasst.

**Tabelle 2.11.1: Übersicht Quail Creek Dike<sup>64</sup>**

<b>Warnzeit</b>	Angemessene Warnungen wurden rechtzeitig ausgesprochen
<b>Tageszeit</b>	Nacht
<b>Fehlerursache</b>	Innere Erosion
<b>Opfer</b>	0
<b>Opferrate</b>	0
<b>Dammhöhe</b>	24 m
<b>Stausee</b>	$3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser während des Bruchs freigesetzt $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser als Stauinhalt
<b>Zeit des Bruchvorgangs</b>	Unsicher, aber immer stärker werdende Wasseraustritte während einer Periode von 12 Stunden

<sup>62</sup> Catanach, R. B.; James, R. L.; O'Neill, A. L.; Von Thun, L. J. (1989): Investigation of the Cause of Quail Creek Dike Failure, URL: <http://www.damsafety.org/media/Documents/DownloadableDocuments/QuailCreekFailureRept.pdf> (letzter Zugriff: 11.05.2017)

<sup>63</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding, URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.16-18

<sup>64</sup> RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding, URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.18

## 2.12 HURRICANE KATERINA – NEW ORLEANS – 2005

Eine der größten Naturkatastrophen in der Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika zog sich am 29. August 2005 im Golf von Mexiko zu (siehe Abb. 2.23).

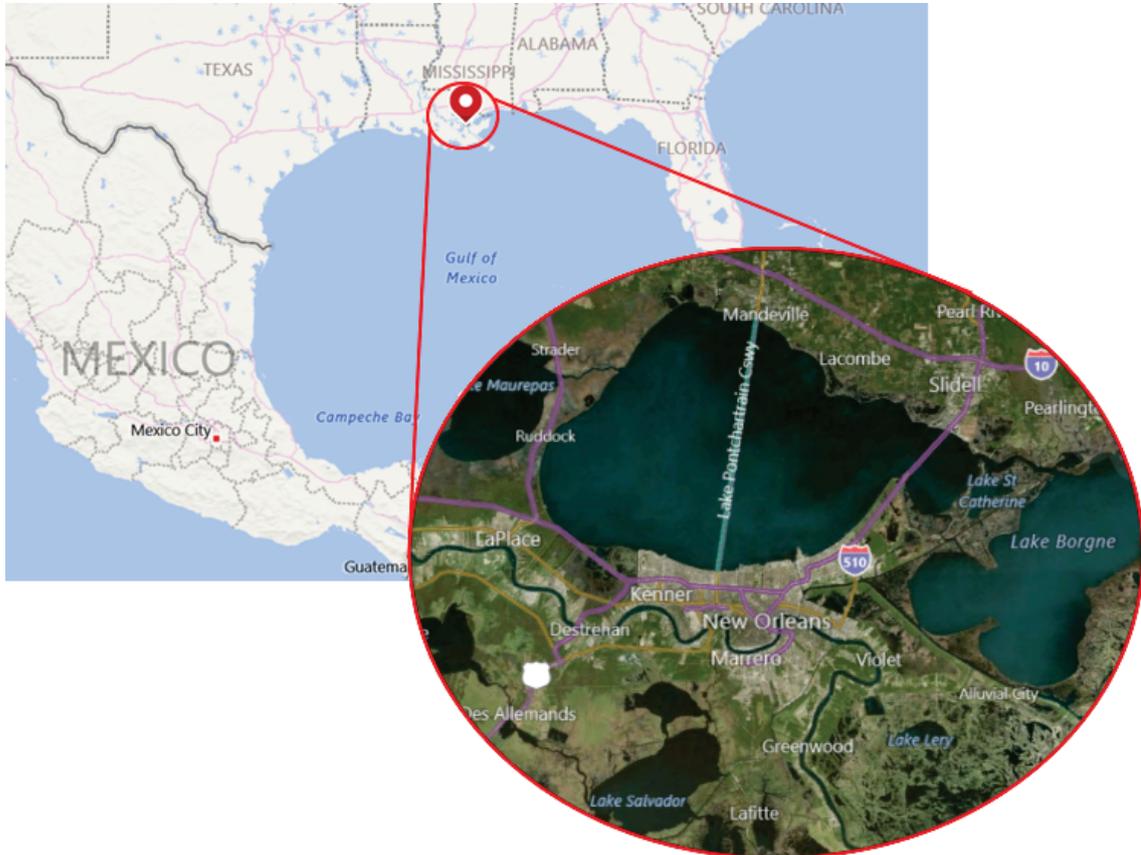


Abb. 2.23: Lage von New Orleans<sup>65</sup>

Nachdem der Hurricane am 25. August die Südküste Floridas traf, nahm er Kurs auf die Stadt New Orleans (siehe Abb. 2.24). Bereits am 26. August zeigten Rechenmodelle, dass eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass die Stadt direkt getroffen wird und am 28. August wurde die erste Zwangsevakuierung in der Geschichte der Stadt angeordnet.

Noch am selben Tag wurden rund 80 % der Bevölkerung von New Orleans evakuiert. Die meisten Menschen flüchteten nach Houston, andere blieben in der Stadt, wo in einem Stadion eine Notunterkunft eingerichtet wurde (siehe Abb. 2.26). Zehntausende Menschen weigerten sich jedoch ihre Häuser zu verlassen und entschieden sich dafür, während des Sturms in ihren Häusern zu bleiben.

Die eingetretene Sturmflut, erreichte an manchen Stellen eine Höhe von etwa 9 m und führte zu mehr als 50 Damnbrüchen in New Orleans. Durch diese Damnbrüche wurden etwa 80 % der Stadt überflutet. In manchen Teilen der Stadt stand das Wasser über 7,5 m hoch, was auch an der Topografie der Stadt liegt, da ein Großteil der Stadt unter Seeniveau liegt (siehe

<sup>65</sup> BING Maps, URL: <https://www.bing.com/maps>

Abb. 2.25). Dank der raschen Evakuierung kamen durch die Fluten „nur“ 1.464 Menschen ums Leben. Auch wenn die Evakuierung der Stadt nicht einwandfrei von Statten ging, wurde dadurch eine weitaus größere Katastrophe verhindert.

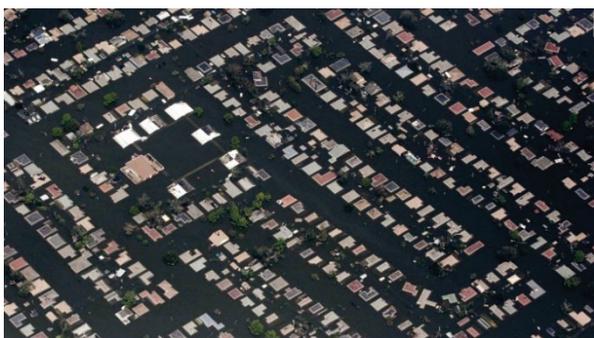
**Definition Sturmflut DIN:**

*„durch starken Wind verursachtes Ansteigen des Wassers an der Meeresküste und in den Flussmündungen im Küstengebiet, wenn die Wasserstände einen bestimmten Wert überschreiten.“<sup>66</sup>*

Ursache für die Damnbrüche waren neben Fehlern im Design auch eine mangelhafte Wartung der Dämme. Die Hauptursachen für die Damnbrüche waren Überströmen und Piping.<sup>67, 68, 69, 70</sup>



**Abb. 2.24: geografischer Verlauf von Hurricane Katerina<sup>71</sup>**



**Abb. 2.25: Ansicht eines überschwemmten Stadtteils<sup>67</sup>**



**Abb. 2.26: Ansicht des Stadions von New Orleans<sup>67</sup>**

<sup>66</sup> Deutsches Normungsinstitut: DIN 4049-3:2005, Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie  
<sup>67</sup> CNN Library: Hurricane Katrina Statistics Fast Facts (23.08.2016), URL: <http://edition.cnn.com/2013/08/23/us/hurricane-katrina-statistics-fast-facts/> (letzter Zugriff 03.10.2017)  
<sup>68</sup> History.com Staff (2009): Hurricane Katrina, A+E Networks, URL: <http://www.history.com/topics/hurricane-katrina> (letzter Zugriff: 03.10.2017)  
<sup>69</sup> Wikipedia: Hurrikan Katrina, URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Hurrikan\\_Katrina](https://de.wikipedia.org/wiki/Hurrikan_Katrina) (letzter Zugriff: 03.10.2017)  
<sup>70</sup> Wikipedia: 2005 levee failures in Greater New Orleans, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/2005\\_levee\\_failures\\_in\\_Greater\\_New\\_Orleans](https://en.wikipedia.org/wiki/2005_levee_failures_in_Greater_New_Orleans) (letzter Zugriff: 03.10.2017)  
<sup>71</sup> UNISYS: 2005 Hurricane/Tropical Data for Atlantic, URL: <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/2005H/index.php> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

## 2.13 ZUSAMMENFASSUNG DER EREIGNISSE

Tabelle 2.13.1: Zusammenfassung der Ereignisse aus Kapitel 2

Damm Name	Location	Versagte im Jahr	Versagensursache	Todesfälle	Opferrate	Warnzeit [hh:mm]
<b>St. Francis Dam</b>	USA – Los Angeles	1928	Dammgleiten	420 +	0,14	Keine
<b>„De Ramp“</b>	Europa – Niederlande	1953	Überströmen	1.836	-	Keine
<b>Vajont Damm</b>	Europa – Italien	1963	Überströmen	2.000	0,94	Keine
<b>Baldwin Hills Dam</b>	USA – Kalifornien	1963	Piping	5	0,0003	01:50
<b>Buffalo Creek Coal Waste Dam</b>	USA – West Virginia	1972	Überströmen von Damm Nr. 2 Setzungen und Dammgleiten von Damm Nr. 3	125	0,025	Keine
<b>Canyon Lake Dam</b>	USA – South Dakota	1972	Überströmen	238	0,006	Keine
<b>Banqiao Damm</b>	China – Henan	1975	Überströmen	26.000	-	Keine
<b>Teton Dam</b>	USA – Idaho	1976	Piping	11	0,01 Wilford 0,0002 Rexburg	00:30 - 01:00
<b>Laurel Run Dam</b>	USA – Pennsylvania	1977	Überströmen	41	0,27	Keine
<b>Stava Damm</b>	Europa - Italien	1985	Überschreiten des maximalen Böschungswinkels	268	0,9	Keine
<b>Quail Creek Dike</b>	USA – Utah	1989	Innere Erosion	0	0	Lange vor Dammbbruch
<b>Hurricane Katrina</b>	USA – New Orleans	2005	Überströmen	1.464	0,003	Rechtzeitige Evakuierung

In Tabelle 2.13.1 ist deutlich erkennbar, dass bei einer Vorwarnung sowohl die Opferzahl als auch die Opferrate deutlich geringer sind als bei Sperrenbrüchen bei denen keine Warnung der Bevölkerung erfolgte. Gerade aus den Ereignissen aus den 1970er Jahren ist erkennbar, dass keine Notfallpläne, die klare Richtlinien geben wann Evakuiert werden muss und wer informiert werden muss vorhanden waren. Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass sich die Zahl der Todesfälle durch rechtzeitige Warnungen, aber auch durch besser koordinierte Handlungen verringern lässt.

### 2.13.1 Buffalo Creek Coal Waste Dam

Im Fall des Buffalo Creek Coal Waste Damms waren schlechte Kommunikation verbunden mit einer falschen Einschätzung der Situation Grund für rund 125 Todesfälle. Berichte von Arbeitern am Damm deuten darauf hin, dass die Lage am Sperrenbauwerk selbst mehr oder weniger hoffnungslos war. Trotzdem wurden etwa 90 Minuten vor dem Versagen zwei Polizeibeamte, bei einem Treffen mit einem Verantwortlichen des Betreibers, mit der Information, die Lage sei unter Kontrolle und alles sei in Ordnung, nach Hause geschickt.

In Rapid City wurde schlichtweg die Schwere des Ereignisses unterschätzt. Noch um 22:00 Uhr geht aus Fernsehnachrichten hervor, dass die Ereignisse stark unterschätzt wurden. Um 22:30 Uhr wurde in Eilmeldungen veranlasst, dass tieferliegende Gebiete der Stadt evakuiert werden müssen. Es gab jedoch keinen Hinweis auf ein mögliches Dammversagen. Der Damm versagte schlussendlich um 22:45 Uhr.<sup>72</sup>

### 2.13.2 Teton Dam

Auch in Fällen bei denen eine Warnung ausgegeben wurde, passierten in der verständlichen Hektik einige Fehler. Im Fall des Teton Damms wurden sehr früh die Behörden der zwei nächstgelegenen Ortschaften alarmiert. Einer der Sheriffs gab die Warnung nicht sofort weiter, da er nicht verstand wie ernst und dringend die Lage war. Der andere Sheriff informierte einen Radiosender, weshalb ein Mitarbeiter zum Damm fuhr und von dort live berichtete. Als der Radioreporter das große Loch im Damm sah, gab er kontinuierlich eine Durchsage mit den Worten:

*„People downstream, evacuate quickly! Hurry! Hurry!“*

*„Personen stromabwärts, bringt euch in Sicherheit! Schnell! Schnell!“<sup>73</sup>*

durch. Trotz dieser Durchsage blieben einige Personen zu Hause.

Besonders aus Augenzeugenberichte geht hervor, was in einer solchen Situation in einem Menschen vor sich geht. Die erste Reaktion ist eine Art von Verdrängung, manche Personen wollten oder konnten den Berichten über ein drohendes Dammversagen nicht glauben. Eine typische Reaktion auf die erste Warnung zeigt ein Augenzeugenbericht:

*„And then, when I heard of the dam breaking (I think I heard it first on the radio) they first said the dam was leaking and then they announced if you live below the dam you should prepare to evacuate. Well, I thought they meant everyone who lived right underneath the dam. We had been up to visit the dam a couple of months ago and it was quite a drive [from Rexburg] and I thought, “My goodness it’s far away. It wouldn’t affect us.” They repeated the announcement several times and I thought well, surely they would say specifically Rexburg if they meant Rexburg should evacuate. My neighbor was out working in her yard. ....I asked her if she’d heard and she said, “Yes.” And I said, “Do you think that we ought to evacuate?” and she said, “Oh no, it’s never flooded this high before.” About that time one of my neighbors came in tears and in hysterics and said, “Have you*

<sup>72</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials, S.2

<sup>73</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials, S.3

*heard? The dam's broken!" I thought "Oh my goodness, you silly girl. You're kind of overacting." So, my first thought was not to take it seriously. I think that I remember thinking that this is 1976; dams don't break."*<sup>74</sup>

Viele Personen folgten den Warnungen erst nachdem sie diese von mehreren Medien (TV, Radio, andere Personen) erhielten. Andere blieben in ihren Häusern, weil ihnen die Gefahr nicht bewusst war. Sie hörten Feuerwehrensirenen, konnten allerdings kein Feuer sehen. Andere wogen sich in Sicherheit, da sie ihrer Ansicht nach weit genug vom Damm entfernt waren. Typische Gedanken waren:

- „Ich war vor einigen Wochen beim Damm und dachte, dass nicht so viel Wasser im Speicher ist, also würde es auch nicht bis in unsere Stadt reichen.“
- „Als ich hörte, dass Leute stromabwärts evakuieren sollten dachte ich, dass diejenigen direkt unterhalb des Damms. Wenn wir gemeint gewesen wären (unsere Stadt/Dorf/Gegend) hätten sie das bestimmt erwähnt.“

Manche wurden evakuiert, kehrten allerdings wieder in das Gefahrengebiet zurück, um Nachbarn und Familienangehörigen zu helfen oder um persönliche Dinge zu holen. Einige tragische Schicksale ereigneten sich, weil Leute helfen wollten und in das Gefahrengebiet zurückkehrten:<sup>75, 76</sup>

*„When the very shocking report came over the radio that the Teton Dam had burst, all of the residents living in the valley below the dam were told to prepare to evacuate immediately.*

*This message was especially frightening to Clara Lieding as she sat in the radio station in Rexburg receiving and conveying messages. Clara's parents, the Lieding's, lived and owned a farm in Wilford, close to the river. Clara, afraid that her parents would be out in the yard working this beautiful morning and not listening to the radio, gave them a telephone call, advising them of what had happened and urged them to evacuate immediately.*

*The Lieding's went out of their house and looked to the east in the direction of the dam, but because of the large trees and foliage growing in that direction could see nothing to give them much alarm. They did heed the warning advice given to them by their daughter and began loading their personal property onto their*

<sup>74</sup> Graham, J. W. (2008): The Teton Dam Failure – An Effective Warning and Evacuation, *Reclamation – Managing Water in the West*, S.16

<sup>75</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, *ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials*

<sup>76</sup> Graham, J. W. (2008): The Teton Dam Failure – An Effective Warning and Evacuation, *Reclamation – Managing Water in the West*

*pickup to haul to St. Anthony [a town a few miles away that was not flooded from the failure]. They succeeded in getting two pickup loads hauled to safety.*

*In the meantime, another daughter of the Lieding's, Colleen, and her husband Glen Bedford, of the town of Parker, had received the message and naturally had an immediate urge to do something about it. Colleen said to Glen, "We've just got to go out to Wilford and help Dad and Mother," but Glen said, "You stay here with the children, and I'll drive over and get Jim (his brother) and Charles McCrea (Jim's father-in-law) and we'll take the pickup and go out and help."*

*Glen immediately went to his two neighbor's homes, first that of his brother's and then to Jim's father-in-law and started for Wilford. As they passed through St. Anthony, they stopped momentarily at Clara's home where the Lieding's were finishing unloading their second pickup load of belongings. Being unable to see Mr. Lieding because of his position back of the house, Glen said to Mrs. Lieding, "We'll go right out there and see what we can do," and away they drove. When Mrs. Lieding told her husband what had happened, he said, "I've got to stop them. It's too late to do anything now." He started driving back alone towards Wilford in pursuit of his friends and relatives.*

*As Mr. Lieding was nearing his home in Wilford, he saw the three men busying themselves taking things out of the house and putting them into their pickup. Then as he looked to the east he saw the huge bank of water rushing towards him. He says now, "That bank of rolling water coming towards me looked like it was fifty feet high!*

*Rushing to the house where the three men now were, he hollered, "Get out of here before it's too late!" Then he hurriedly went to the cabinet, took out some pills, and left, thinking the others would follow him. Apparently, Glen and the other two just did not sense the danger because when Mr. Lieding hollered, one of them answered, "We have time." But Mr. Lieding had seen the rushing torrent of water and left the premises in his pickup just in time to save his own life. The other three, brave as they were, evidently couldn't imagine the magnitude of the flood, stayed just one minute too long, and were caught by the roaring mass of water and carried away.*

*[The three men died]."<sup>77</sup>*

---

<sup>77</sup> Graham, J. W. (2008): The Tenton Dam Failure – An Effective Warning and Evacuation, *Reclamation – Managing Water in the West*, S.19 - 20

### 2.13.3 GEWONNENE ERKENNTNISSE

Um die Zahl der potentiell gefährdeten Personen und in weiterer Folge den möglichen Verlust von Menschenleben einschätzen zu können, ist es wichtig das Verhalten des Menschen zu verstehen. Kaum ein anderer Parameter beeinflusst den Ausgang einer Katastrophe mehr als die verfügbare Warnzeit bis das Ereignis eintritt und wie Menschen darauf reagieren.

Einen weiteren großen Einfluss spielt die Tageszeit, aber auch der Wochentag, zu dem eine Stauanlage versagt. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass ein Dammbbruch mitten in der Nacht höhere Opferraten nach sich zieht als tagsüber. Der Grund hierfür liegt klar an der längeren Zeit die benötigt wird um Personen in der Nacht zu warnen. Personen müssen erst geweckt werden und überzeugt werden, ihr Haus zu verlassen. Hinzu kommen auch noch Wettereinflüsse wie Niederschläge, welche Evakuierungen maßgeblich erschweren können.

In den USA wurden, gerade nach den schweren Dammbbrüchen der 1970er Jahre, erstmals eine Richtlinie für die Sicherheit von Stauanlagen erarbeitet (The Federal Guidelines for Dam Safety – FEMA 93<sup>78</sup>). Diese enthielten zum ersten Mal die Forderung nach einem Notfallplan (Emergency Action Plan – EAP) für jedes Sperrbauwerk. Die Richtlinie für Notfallpläne von Dämmen (Emergency Action Planning for Dams – FEMA 64<sup>79</sup>) wurde erstmals im Februar 1985 herausgegeben und in den kommenden Jahrzehnten immer wieder überarbeitet. In der FEMA 64 sind 6 Basiselemente für einen Notfallplan (EAP) aufgelistet:<sup>80</sup>

- Notification flowchart and contact information (Ablaufdiagramm für Benachrichtigungen und Kontaktinformationen) – Wer muss informiert werden? Von wem? Wann?
- Response Process (Reaktionsprozess) – Notfallerkennung, Beurteilung und Klassifizierung
- Responsibilities (Verantwortlichkeiten) – Was muss von den Dammverantwortlichen und Notfallbehörden getan werden?
- Preparedness Activities (Bereitschaft) – Dinge die vor einem Notfall getan werden müssen.
- Inundation Maps (Karten der Überschwemmungsgebiete) – Um die Benachrichtigung und Evakuierung von betroffenen Gebieten zu ermöglichen
- Additional information in Appendices (Zusätzliche Informationen)

Trotz dieser Maßnahmen können Todesopfer nicht ausgeschlossen werden. EAPs sorgen nur dafür, dass die Wahrscheinlichkeit von Fehleinschätzungen reduziert und die Informationskette schneller in Gang gebracht werden. Außerdem Garantieren diese

<sup>78</sup> U.S. Department of Homeland Security (2014): FEMA 93: Federal Guidelines for Dam Safety, URL: <https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1502-20490-5785/fema-93.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>79</sup> U.S. Department of Homeland Security (2013): FEMA 64: Federal Guidelines for Dam Safety – Emergency Action Planning for Dams, URL: [https://www.fema.gov/media-library-data/5b20db599c212f77fd5e85d256f471a3/EAP+Federal+Guidelines\\_FEMA+P-64.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/5b20db599c212f77fd5e85d256f471a3/EAP+Federal+Guidelines_FEMA+P-64.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>80</sup> U.S. Department of Homeland Security (2013): FEMA 64: Federal Guidelines for Dam Safety – Emergency Action Planning for Dams, URL: [https://www.fema.gov/media-library-data/5b20db599c212f77fd5e85d256f471a3/EAP+Federal+Guidelines\\_FEMA+P-64.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/5b20db599c212f77fd5e85d256f471a3/EAP+Federal+Guidelines_FEMA+P-64.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.I-4

Maßnahmen nicht, dass eine Warnung überhaupt ausgesprochen wird und, dass Menschen die Gefahrenzone verlassen.<sup>81</sup>

### **2.13.3.1 GRÜNDE WESHALB MENSCHEN GEFAHRENZONEN TROTZ WARNUNG NICHT VERLASSEN**

Eine Evakuierung aufgrund einer bevorstehenden Katastrophe kann unterschiedliche Größen annehmen. Dabei geht die Reichweite von, in ein höher gelegenes Stockwerk gehen und dort einige Stunden verharren, zu einige 100 m aus einem Tal gehen und dort einige Zeit bleiben, bis zu einige Kilometer weit reisen, um aus der Gefahrenzone zu gelangen und dort dann einige Tage bleiben. Diese Distanzen können einen großen Unterschied machen. Während es emotional und physisch einfach ist in den obersten Stock oder ein paar 100 m weg zu gehen, ist es viel schwieriger, wenn die Distanzen und Aufenthalte größer werden.

Warum Menschen also nicht flüchten oder zu spät flüchten, liegt im Wesentlichen an der Art der Warnung, der Erfahrung von Menschen mit vergangenen Ereignissen, de, grundsätzlichen Glauben der Menschen. Oftmals ist die Evakuierung durch Behinderungen erschwert (z.B. schlechtes Wetter) oder erst gar nicht möglich (z.B. blockierte Straßen).

Die Gründe, warum Menschen die Gefahrenzonen nicht verlassen können vielfältig sein. An dieser Stelle seien einige aufgelistet.<sup>82</sup>

- Einleitung von Evakuierungen beeinflusst durch die Art der Warnung:
  - Warnungs- und Dammüberwachungssysteme funktionieren nicht oder sind nicht vorhanden.
  - Notfallpläne (EAPs) existieren nicht oder werden schlecht umgesetzt.
  - Es wird keine Warnung ausgegeben.
  - Es kommt zur Warnung, aber die Nachricht ist schlecht formuliert, wie z.B.:
    - Nachricht nicht spezifisch, konsequent, genau, bestimmt und eindeutig genug
    - Keine Angaben über die Gebiete, die in Gefahr sind.
    - Keine genauen Angaben, wie die Öffentlichkeit vorgehen soll, wie z.B. welche Dinge mitnehmen oder wohin flüchten.
    - Fehlende Angaben über die Art der Gefahr.
    - Keine Angaben über die Zeit die zur Verfügung steht.
  - Nachrichten werden nicht wiederholt und auch nicht über alle zur Verfügung stehenden Medien übermittelt
  - Warnungen werden in einer Sprache ausgesprochen die nicht alle verstehen. Beispiel hierfür wären Tourismusgebiete.
  - Warnungen werden zu Fachspezifisch und mit Fachbegriffen, die nicht jeder verstehen kann ausgesprochen.

---

<sup>81</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, *ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials*

<sup>82</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, *ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials, S.5 ff*

- Warnungen erreichen nicht alle Personen in der Gefahrenzone.
- Entlegene Gebiete haben eventuell keine ausreichende Telefon-, Radio- und/oder Fernsehverbindung.
- Warnungen werden ausgesprochen, aber es wird nicht erwähnt das evakuiert werden muss.
- Warnungen werden ausgesprochen, aber Evakuierungen werden nur vorgeschlagen und nicht als absolut notwendig bezeichnet.
- Warnungen werden ausgesprochen, aber unterschiedliche Medien widersprechen sich in manchen Angaben, welche die Evakuierung betreffen.
- Einleitung von Evakuierungen beeinflusst durch die individuelle Interpretation der Warnung oder durch persönliche Eigenschaften und Glauben:
  - Umweltsignale (oder eben das Fehlen solcher) führen zu Zweifeln über die Richtigkeit der Warnung. Es macht einen Unterschied, ob die Person die Gefahr sehen oder hören kann oder nicht.
  - Nachbarn verlassen das Gebiet auch nicht.
  - Ähnliche Warnungen wurden in der Vergangenheit ausgesprochen, aber es ist nichts passiert.
  - Personen blieben bei vergangenen Ereignissen ebenfalls zu Hause und es ist nichts passiert.
  - Personen haben in der Vergangenheit der Aufforderung zu Evakuierung Folge geleistet und es ist nichts passiert. Das heißt sie hätten zu Hause bleiben können und wollen diesen Fehler nicht noch einmal begehen.
  - Liveberichte von Reportern aus der Gefahrenzone führen dazu das Personen denken, „Wenn der Reporter in der Gefahrenzone sein kann, kann ich dort auch bleiben.“
  - Warnungen werden gehört, aber als Übertrieben oder Falsch abgetan.
  - Warnungen werden gehört, aber die Gefahr als nicht so groß eingeschätzt.
  - Warnungen werden nicht gehört, weil Personen schlafen.
  - Warnungen werden gehört, aber nicht bewusst wahrgenommen (z.B. Radio als Hintergrundgeräusch während Arbeit).
  - Glaube, dass die Warnungen an andere Gebiete gerichtet sind.
  - Eine Wahrnehmung, dass keine echte Gefahr besteht.
  - Glaube, dass man zu Hause sicherer ist als woanders.
  - Eine Abneigung gegen Autoritäten („Niemand sagt mir was ich zu tun habe!“)
  - Personen wollen ihr tägliches Leben nicht unterbrechen und die Familie nicht unnötig evakuieren.
  - Familien wollen gemeinsam das Gebiet verlassen. Es müssen erst alle Familienmitglieder zusammenkommen.
  - Persönliche Dinge werden erst gesammelt und eingepackt, was die Evakuierung verzögert.
  - Erwartung, dass andere für ihre Sicherheit sorgen.
  - Personen mit Behinderungen oder anderen Beeinträchtigungen.
  - Dickköpfige und unbelehrbare Menschen.
  - Haustiere sind nicht erlaubt in der Zuflucht.
  - Personen müssen sich um ihre Haustiere kümmern.

- Nutztiere benötigen Pflege und Aufmerksamkeit.
- Angst vor Plünderern.
- Personen bleiben, um ihr Haus oder Büro vor Umweltschäden zu schützen.
- Arbeiten die noch erledigt werden müssen.
- Menschen wollen ihre gewohnte Umgebung nicht verlassen.
- Menschen wollen Plätze zu denen sie tiefe emotionale Bindungen haben nicht verlassen.
- Eigenes Haus oder Wohnung wird als sicher und komfortabel angesehen.
- Besonders ältere Menschen fühlen sich zu Hause am sichersten.
- Fatalismus – Alles durch Schicksal vorherbestimmt.
- Unterschiede zwischen Männern und Frauen:
  - Vergangene Ereignisse zeigen, dass Männer eher dazu neigen aktiv gegen die Katastrophe vorgehen wollen. (Güter in Sicherheit bringen, Haus sturmsicher machen, Feuer löschen, etc.)
  - Wohingegen Frauen eher dazu neigen, sich und ihre Angehörigen (Kinder) in Sicherheit zu bringen und einen großen sozialen Aspekt übernehmen.
- Einleitung von Evakuierungen beeinflusst durch Schwierigkeiten oder Unannehmlichkeiten ein sicheres Gebiet zu erreichen:
  - Das sichere Gebiet ist ungemütlich (Berghang in einer dunklen, verregneten Nacht; Fußboden einer Turnhalle).
  - Glaube, dass eine Evakuierung zu gefährlich wäre.
  - Keine Bekannten, Freunde oder Familie im sicheren Gebiet. Besonders bei weiten Distanzen.
  - Nicht die Mittel um das Gebiet zu verlassen
  - Kein Auto und Alternativen sind nicht verfügbar oder voll.
  - Die verfügbaren Straßen sind überlastet.
  - Versuch das Gebiet zu verlassen, aber zu viel Verkehr und deshalb nach Hause zurückgekehrt.
  - Große Verkehrsprobleme oder chaotische Verhältnisse erwartet und deshalb erst gar nicht begonnen zu evakuieren.
  - Keine Fluchtwege verfügbar zu Beginn der Katastrophe.
  - Zu lange gewartet (einpacken von Wertgegenständen oder Haus sichern) und keine Fluchtwege mehr vorhanden.
  - Das Gebiet bereits verlassen, aber wieder zurückgekehrt um persönliche Gegenstände zu holen oder sich um Haustiere zu kümmern.

Selbst dann, wenn Warnungen verstanden, akzeptiert und für richtig gehalten werden, kommt es immer wieder zu einem widerwilligen Verhalten was das Verlassen des Gebiets betrifft. Menschen neigen dazu in Stresssituationen die am wenigsten aufwendige Option zu wählen. Aus diesem Grund werden sie eher andere Schutzmaßnahmen treffen bevor sie ihr Haus verlassen, wenn sie nicht 100%ig von der Gefahr überzeugt sind. Selbst dann, wenn sich Menschen bedroht fühlen, versuchen sie an ihren normalen Routinen festzuhalten.

### 2.13.3.2 BEGRÜNDETE WARNUNGEN ABGEBEN

Einer der wichtigsten Schritte, bei einer bevorstehenden Katastrophe ist das Herausgeben von Warnungen noch bevor die Sperre versagt. Warnungen noch vor dem eigentlichen Versagen der Stauanlage ist vor allem für Personen die in unmittelbarer Nähe zur Sperre leben außerordentlich wichtig. Damit Warnungen rechtzeitig ausgesprochen werden können sind einige Dinge notwendig:<sup>83</sup>

- Überwachung der Stauanlage:
  - Laufende Kontrolle von sicherheitsrelevanten Parametern.
  - Grenzwerte ab denen Gefahr besteht und Warnungen notwendig sind
    - Laufende Kontrolle der Grenzwerte und Anpassung an das Verhalten der Stauanlage.
- Funktionierende Pläne, wie im Notfall vorgegangen werden soll (EAP):
  - Evakuierungspläne
  - Zu verständigende Personen (Behörden, Medien, etc.)
- Festlegung der Zuständigkeiten und Autoritäten

Die Informationskette beginnt bei den Talsperrenverantwortlichen. Dieser Umstand macht es umso wichtiger, dass diese Person keine Informationen zurückhält und eine Nachricht übermittelt, die die Eindeutigkeit und Sicherheit über die Geschehnisse und die Gefahr des Sperrenversagens, sowie die Folgen für Personen stromabwärts, enthält.<sup>84</sup>

#### **TALSPERRENVERANTWORTLICHER**

In Österreich wird die Sicherheit von großen Stauanlagen unter anderem durch die Staubeckenkommission überprüft, welche vom „Bundesministerium für ein Lebenswertes Österreich – BMLFUW“ eingerichtet wurde. Diese unterliegt den Regelungen der Staubeckenkommissions-Verordnung von 1985<sup>85</sup>. Einer der Grundsatzbeschlüsse regelt dabei die Verantwortlichkeiten von Behörden und Betreibern:<sup>86</sup>

- Maßnahmen, die von den Eigentümern der Talsperren (Wasserberechtigten) zu treffen sind:
  - Für jede Talsperre muss der Wasserberechtigte aus dem technischen Führungsstab einen **Talsperrenverantwortlichen** und einen Stellvertreter für diesen bei den Wasserrechtsbehörden melden.
    - Der Talsperrenverantwortliche muss anschließend von den Behörden genehmigt werden.

<sup>83</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, *ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials*, S.7 - 8

<sup>84</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, *ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials*

<sup>85</sup> Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 14. Mai 1985 über die Staubeckenkommission (Staubeckenkommissions-Verordnung 1985), StF: BGBl. Nr. 222/1985

<sup>86</sup> Österreichische Staubeckenkommission (1964): Stellungnahme zur Frage der Talsperrenüberwachung und Talsperrensicherheit, *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*

- Aufgaben des Talsperrenverantwortlichen:
  - Durchführung aller der Sicherheit der Sperre dienenden Aufgaben (Beobachtung, Messung, Maßnahmen)
  - Berichterstattung aller die Sicherheit der Sperre betreffenden Ereignisse an die Behörden und der Öffentlichkeit.
  - Der Talsperrenverantwortliche und sein Stellvertreter müssen vom Wasserberechtigten alle Vollmachten zur Durchführung ihrer Aufgaben erhalten.
  - Kontrolle aller Tätigkeiten von Sperrenwärtern sowie die Sicherstellung, dass alle Messprotokolle unverzüglich und richtig eingetragen und ausgewertet werden.
  - Die Ergebnisse der Messungen müssen alljährlich in einem Bericht zusammengefasst und der Staubeckenkommission sowie der Aufsichtsbehörde übermittelt werden.
  - Prüfung der Messeinrichtungen alljährlich.
  - Alle 2 bis 5 Jahre muss die gesamte Anlage mit Vertretern der Behörden und gegebenenfalls der Staubeckenkommission besichtigt werden.
  - Anlegen eines Sperrenbruchs.
  - Der Talsperrenverantwortliche hat alle außerordentlichen Beobachtungen jederzeit und unverzüglich entscheidungsbefugten Stellen zu übermitteln. Gegebenenfalls hat er sich unverzüglich mit den Behörden in Verbindung zu setzen, um alle Alarm- und Sicherungsmaßnahmen zu veranlassen.
  - Alle Maßnahmen, die im Fall einer Gefahr zu tätigen sind, sind im Vorhinein nach Art und Zeitfolge eindeutig festzulegen.
- Maßnahmen auf Behördenseite:
  - Der Staat muss überwachen, ob die Instandhaltung der Stauanlagen sowie der Beobachtungs- und Messeinrichtungen in verlässlicher und sinnvoller Art vom Wasserberechtigten durchgeführt wird.

Weiters wird von der Staubeckenkommission das Anforderungsprofil des Talsperrenverantwortlichen festgelegt:<sup>87</sup>

- Qualifikation
  - Universitätsabschluss im Baufach
  - Mindestens 10 Jahre (Stellvertreter 5 Jahre) in der Projektierung, Bauausführung oder Überwachung von Talsperren tätig.
- Vertrautsein mit der Anlage (mindestens 3 Jahre bei der Anlage beschäftigt)
- Erreichbarkeit
- Position im Unternehmen
  - Der Talsperrenbeauftragte muss die Vollmachten besitzen, um vom Betrieb der Anlage unabhängige Aufsichts- und Kontrollfunktionen zu übernehmen und gegebenenfalls in das Betriebsgeschehen einzugreifen.
  - Er darf nicht Weisungsgebunden sein.

---

<sup>87</sup> Österreichische Staubeckenkommission (1998): Anforderungen an den Talsperrenverantwortlichen, *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*

### 2.13.3.3 SEHEN HEISST GLAUBEN

Schon in der Bibel kommt die Gegebenheit vor, dass Menschen erst dann etwas Glauben können, wenn sie es mit eigenen Augen sehen:

*„Weil du mich gesehen hast, Thomas, darum glaubst du. Selig sind, die nicht sehen und doch glauben!“<sup>88</sup>*

Anders ausgedrückt „Bilder sagen mehr als tausend Worte“ und wenn man noch weitergeht, könnte man auch sagen „Etwas live sehen sagt mehr als tausend Bilder“.

Besonders aus Augenzeugenberichten geht hervor, dass Personen zögern, das Gebiet zu verlassen bevor sie etwas mit ihren eigenen Augen gesehen haben. Viele die davor bereits einige Male gewarnt worden sind verlassen das Gebiet erst, wenn sie die herannahende Flutwelle sehen können.

Dieser Umstand, zusammen mit den gelisteten Gründen in Kapitel 2.13.3.1, verhindert, dass Menschen lebensrettende Maßnahmen ergreifen. Gerade in der heutigen Zeit, können Fernsehmedien und das Internet Bilder so schnell wie noch nie verbreiten. Um das zu erreichen sollten einige Aktionen während eines Dammfehlers ergriffen werden.<sup>89</sup>

In Österreich ist in der „Staubeckenkommissions-Verordnung 1985“<sup>90</sup> geregelt wer wen über was und in welchen Abständen zu verständigen hat. Dabei handelt es sich um ein Mehrebenenprinzip der Stauanlagenüberwachung:<sup>91</sup>

- Talsperrenverantwortlicher des Wasserberechtigten (Talsperreneigentümer)
- Gewässeraufsicht (Landes- oder Bezirkshauptmann)
- Talsperrenüberwachung des Bundes

In Abb. 2.27 ist die Informationskette dieses Mehrebenenprinzips dargestellt. Dabei soll dieses Prinzip bei Sicherheitsfragen eine Betrachtung aus mehreren Blickwinkeln ermöglichen.

---

<sup>88</sup> Bibel, Buch des Johannes Kapitel 20 Vers 29

<sup>89</sup> Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, *ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials*

<sup>90</sup> Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 14. Mai 1985 über die Staubeckenkommission (Staubeckenkommissions-Verordnung 1985), StF: BGBl. Nr. 222/1985

<sup>91</sup> Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Grundsatzbeschlüsse der Staubeckenkommission, URL: <https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/nutzung-wasser/Grundsatzbeschl.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

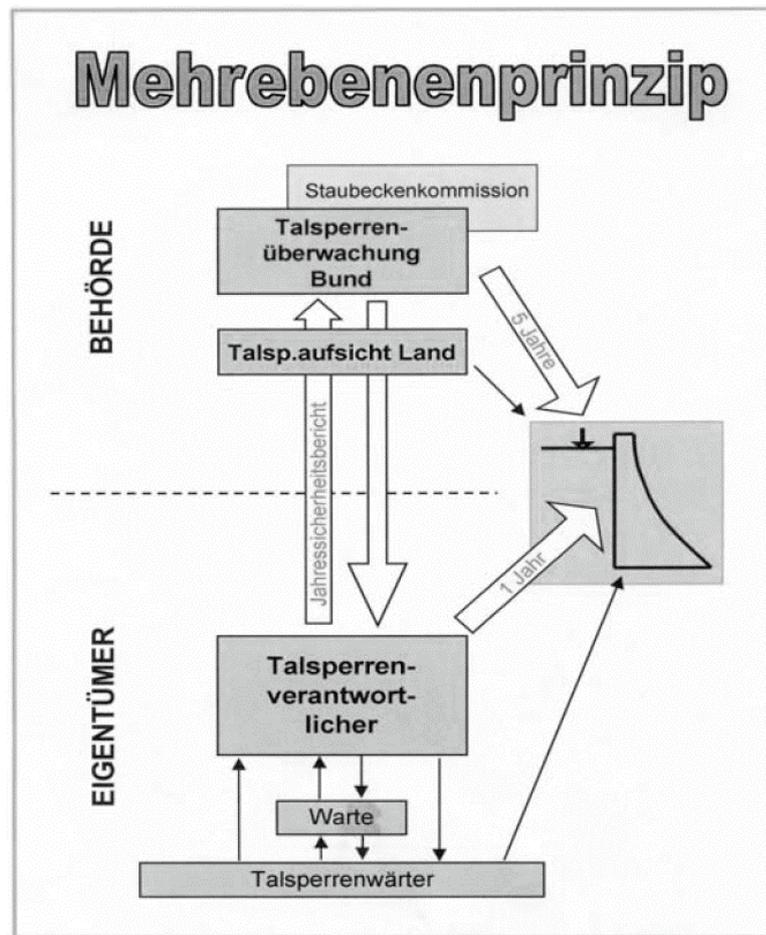


Abb. 2.27: Informationskette der Talsperrenüberwachung in Österreich<sup>92</sup>

### 2.13.3.4 WARNUNGSIHALT UND -ÜBERMITTLUNG

Warnungen spielen eine sehr große Rolle, wobei vor allem die Art, der Inhalt und die Person von der die Warnung kommt von essenzieller Bedeutung sind. Warnungen über ein bevorstehendes Stauanlagenversagen sollten folgende Inhalte enthalten:

- Warnung von der die Warnung kommt muss auch die Kompetenz besitzen, um zu warnen. – Talsperrenverantwortlicher
- Klare Sprache verwenden – unmissverständliche und direkte Ausdrücke; Wörter wie muss, notwendig, dringend, gesicherte Fakten, jetzt etc. anstelle von Ausdrücken, wie sollte, möglich, bald, etc. da diese einen Spielraum in der Interpretation zulassen.
- Einheitliche Nachrichteninhalte – keine wechselnden Informationen, die Verwirrung schaffen könnten
- Präzise Nachrichteninhalte:
  - **Welche Gebiete** sind in Gefahr (ausdrücke, wie tiefliegende Gebiete oder Gebiete in der Nähe des Flusses müssen evakuieren, vermeiden! – Welche Gebiete sind tiefliegend? Großer Interpretationsspielraum)
  - Bis **wann** sollte das Gebiet evakuiert sein.

<sup>92</sup> Melbinger, R.: 12 Thesen zur Sicherheit der großen Talsperren Österreichs, Österreichische Staubeckenkommission, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, URL: <https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/nutzung-wasser/stauanlagen.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.11

- **Was** ist zu tun.

Folgende Möglichkeiten zur Übermittlung von Warnungen sollten genutzt werden:

- Fernsehen, über alle Verbindungen (Kabel, Satellit, ...)
  - Unterbrechungen des normalen Fernsehprogramms übermitteln die Dringlichkeit der Nachricht und sollten unbedingt genutzt werden.
- Radio, über alle Frequenzen
  - Unterbrechungen des normalen Programms.
  - In möglichst vielen Sprachen (Zumindest in Muttersprache und Englisch)
- Internet.
- Sirenen (Feuerwehirsirenen und Sprachnachrichten).
- Polizei.
- Feuerwehr.
- Warnungen über das Handynetz:
  - Die weltweit erste Nation die diese Technologie einsetzt, sind die Niederlande. Das System mit dem Namen NL-Alert (<http://www.crisis.nl/nl-alert>) ermöglicht den Behörden, die Bevölkerung im Fall einer Gefahr zu warnen. Das System funktioniert ähnlich, wie ein Radiosignal, das von Handymasten aller Provider im Gefahrengebiet ausgestrahlt wird. Da es nicht mit dem normalen Handynetz gekoppelt ist, funktioniert es auch bei einer Netzüberlastung. Jeder bekommt dabei eine Nachricht, mit den wichtigsten Informationen und Anweisungen direkt auf sein Handy.<sup>93</sup>

Besonders wichtig ist, dass alle Warnungen, auf allen Medien, immer wieder wiederholt werden, um eine große Anzahl an Personen vorzuwarnen. Außerdem vermittelt, dass wiederholen der Warnung den Eindruck, dass es sich tatsächlich um eine ernstzunehmende Warnung handelt.

### **ZIVILSCHUTZMASSNAHMEN IN ÖSTERREICH**

In Österreich werden Sirenensignale und ihre Bedeutung durch den Zivilschutzverband geregelt. Dabei informieren die Sirenen nicht direkt darüber, welche Art der Gefahr besteht. Vielmehr sollen die Signale Personen dazu veranlassen Fernseher oder Radio einzuschalten, um weitere Informationen zu erhalten. In Abb. 2.28 ist die Bedeutung der Sirenensignale dargestellt.

---

<sup>93</sup> Government of the Netherlands (08.11.2012): Nationwide launch of emergency alert system NL-Alert, URL: <https://www.government.nl/latest/news/2012/11/08/nationwide-launch-of-emergency-alert-system-nl-alert> (letzter Zugriff: 03.10.2017)



Abb. 2.28: Bedeutung der Sirensignale in Österreich<sup>94</sup>

Eine weitere Möglichkeit einer Zivilschutzwarnung stellt dabei das System KATWARN<sup>95</sup> dar. Dabei handelt es sich, um ein System, das Informationen direkt auf ein Endgerät überträgt (z.B. Smartphone). Dabei liegt der große Vorteil dieses Systems gegenüber den Sirensignalen darin, dass Informationen zielgerichtet an Personen in einem Gebiet übermittelt werden können und damit der Informationsprozess beschleunigt werden kann. Dabei werden nicht nur Informationen über die Gefahr, sondern auch darüber wie man sich verhalten soll bereitgestellt.

<sup>94</sup> Zivilschutzverband Österreich: GEMEINSAM.SICHER mit dem Zivilschutzverband, Broschüre, URL: [http://www.siz.cc/file/download/Gemeinsam\\_Sicher\\_web.pdf](http://www.siz.cc/file/download/Gemeinsam_Sicher_web.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>95</sup> Bundesministerium für Inneres: KATWARN Österreich, URL: [http://www.bmi.gv.at/cms/bmi\\_zivilschutz/katwarn/](http://www.bmi.gv.at/cms/bmi_zivilschutz/katwarn/) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

**KAPITEL 3**  
**– ANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG**  
**VON OPFERZAHLEN**



### 3.1 EINLEITUNG

Flutwellen verursacht durch das Versagen einer Stauanlage, stellen eine sehr große Gefahr für Menschen im Unterliegerbereich einer Anlage dar. Um nun das Schadenspotential für den Fall eines Sperrenversagens abschätzen zu können, wurden in vergangenen Jahrzehnten diverse Bewertungsansätze, sowohl für mögliche ökonomische Schäden als auch für den potentiellen Verlust von Menschenleben entwickelt.

Der Verlust eines Lebens ist eine Konsequenz, welche nicht direkt durch monetäre Werte abgeschätzt werden kann. Bei Sperrenbrüchen stehen die Opferzahlen meist in direktem Zusammenhang mit dem Versagensszenario bzw. der dadurch entstandenen Flutwelle. Das heißt, die meisten Menschen kommen direkt durch die Flutwelle ums Leben und sekundäre Effekte spielen eine untergeordnete Rolle. Bei anderen Flutkatastrophen, besonders in tropischen Gebieten, kann es auch zu erheblichen indirekten Todesopfern kommen, da in diesen Fällen auch das Fehlen von Trinkwasser und mögliche Seuchenausbrüche berücksichtigt werden müssen. Die vorliegende Arbeit befasst sich allerdings nur mit den direkten Opfern einer Flutwelle.

Es sind diverse Methoden bekannt, um die Opferzahlen von Flutwellen abzuschätzen. Ein genauer Wert für die mögliche Opferzahl lässt sich in Anbetracht einer großen Anzahl an unbekanntem Variablen (genaue Form der Abflussganglinie, Verhalten der Menschen bei einer Evakuierung, ...) nicht angeben. Es ist also wichtig die Grenzen und Besonderheiten dieser Verfahren zu kennen. Eine große Herausforderung ist es dabei, dass komplexe Mechanismen mit einer begrenzten Datenbank von vergangenen Ereignissen modelliert werden müssen. Nach Graham sind die Unsicherheiten von Loss of Life Estimations folgende:

- Der Moment in dem der Damm versagt und in diesem Zusammenhang die zu diesem Zeitpunkt gefährdeten Menschen und das vorherrschende Wetter.
- Die Art und der Zeitpunkt der Warnung. Es ist unklar, wann öffentliche Warnungen ausgesprochen werden und wie sich diese ausbreiten bzw. wahrgenommen werden.
- Die Unsicherheiten der Modelle selbst

Studien über verfügbarer Daten von Flutwellen zeigen, dass die Opferrate unter allen gefährdeten Personen während eines bestimmten Typs von Flutwellen (von Flüssen, an Küsten, durch Regen, durch Dammbüche, etc.) ähnlich sind.<sup>96</sup> Die Schwere der Flut, sowie Warnungs- und Evakuierungszeiten sind dabei bestimmende Faktoren.

---

<sup>96</sup> Jonkman, S. N.; Vrijling, J. K. (2008): Loss of Life Due to Floods, *Journal of Flood Risk Management*, S.43–56

Im Allgemeinen folgen die momentanen Methoden folgendem Schema:

1. Ein spezielles Szenario wird beurteilt. Der Tageszeitpunkt und die Jahreszeit, sowie die Versagensart des Damms werden definiert.
2. Berechnung von charakteristischen Werten der Flutwelle. – Fließgeschwindigkeit, Tiefe, Geschwindigkeit des Wasseranstiegs, Dauer, etc.
3. Für die verschiedenen Szenarien werden die Art und der Zeitpunkt der Warnung beurteilt.
4. Für die verschiedenen Bevölkerungsansammlungen (Städte, Dörfer, etc.) stromabwärts werden die Zeiten vom Aussprechen der Warnung bis zum Eintreffen der Flutwelle berechnet. Es erfolgt eine Erstellung von Zonen mit ähnlicher Vorwarnzeit und Flutwelle.
5. Abschätzung der Bevölkerungszahl in jeder Zone. Auch das Zurückbleiben von Personen in den Gefahrenzonen muss berücksichtigt werden, da nicht alle eine Warnung erhalten haben oder evakuiert werden konnten.
6. Die Anzahl der Todesopfer wird durch die Anzahl der in der Gefahrenzone verbliebenen Personen, durch statistische Sterblichkeitsraten basierend auf der Charakteristik der Flutwelle und den Vorhandenen Unterschlüpfen (Gebäude, sichere Konstruktionen, etc.) berechnet.

Der erste Schritt ist dabei in allen Methoden gleich. Es wird ein Versagensszenario definiert. Dabei werden unterschiedliche Charakteristiken, welche die Sterblichkeitsrate beeinflussen können, zum Zeitpunkt des Sperrenbruchs definiert. Diese Charakteristiken sind:

- **Tageszeit.** Während der Nacht werden Menschen eher in Wohngebieten konzentriert sein, wohingegen sie sich während des Tages in Industrie- und Gewerbegebieten aufhalten. Hinzu kommt, dass während der Nacht die Vorwarnzeit geringer ist und Evakuierungen langsamer durchgeführt werden.
- **Jahreszeit.** Besonders in Gebieten, in denen die Anzahl der Personen stark von der Jahreszeit abhängt, wie z.B. Tourismusgebiete.
- **Stauanlagenversagensursache.** Die Ursache des Stauanlagenversagens beeinflusst auch die Art und den Zeitpunkt der Warnung. Unterschiedliche Versagensursachen führen zu unterschiedlichen Eigenschaften der Flutwelle. Aus diesem Grund sollten verschiedene Abflussganglinien für das Risikomodel verwendet werden.

Es muss desweiteres erwähnt werden, dass alle diese Methoden für ein Fehlerszenario (Sperrenversagen) entwickelt und kalibriert wurden. Das heißt, dass Aussagen zu Flutereignissen denen kein Sperrenversagen vorhergeht nur bedingt mit diesen Modellen wiedergegeben werden können. Trotzdem werden diese Modelle, auf Grund von mangelnden Alternativen, auch für solche Szenarien verwendet. Man sollte sich allerdings immer darüber im Klaren sein, dass dies nur eine bedingte Aussage zulässt.<sup>97</sup>

---

<sup>97</sup> Spanish National Committee on Large Dams (12.12.2012): Risk Analysis Applied to Management of Dam Safety: Appendix C – Estimating loss of life, 119-132, *Professional Association of Civil Engineers*, URL: [http://www.spancold.es/archivos/monograph\\_risk\\_analysis.pdf](http://www.spancold.es/archivos/monograph_risk_analysis.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Anerkannte Methoden zu Beurteilung von Möglichen Todesopfern sind:

- Graham Methode (1999) – DSO-99-06 „A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure“<sup>98</sup>
  - Brown und Graham (1989)<sup>99</sup>
  - DeKay und McClelland (1993)<sup>100</sup>
- Jonkman Methode (2007)<sup>101</sup>
  - Waarts (1989)
  - Vrouwenvelder und Steenhuis (2000)
  - Niederländische Standardmethode (2004)
  - Jonkman (2001)
- Erweiterungen zur Graham Methode
  - RESCDAM LOL Methode – Peter Reiter (2001)<sup>102</sup>
  - Ehsan Methode (2009)<sup>103</sup>
- SUFRI Methode
- LIFESim / HEC-FIA
- BChydro Methode

In den folgenden Kapiteln werden diese Methoden in detaillierter Form dargestellt und erörtert.

---

<sup>98</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office

<sup>99</sup> Brown, C. A.; Graham, W. J. (1988): Assessing the Threat to Life from Dam failure, *Journal Of The American Water Resources Association*, 24(6), S.1303-1309. doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb03051.x

<sup>100</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K

<sup>101</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft

<sup>102</sup> Reiter, P. (2001): RESCDAM: Loss of life caused by dam failure, the RESCDAM LOL Method and its application to Kyyrkösjärvi dam in Seinäjoki

<sup>103</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart

## 3.2 GRAHAM METHODE

Bevor auf die eigentliche Methode von Graham eingegangen wird, werden zwei Methoden erörtert, welche als Basis bzw. Entwicklungsschritte zu dieser Methode anzusehen sind.

### 3.2.1 BROWN UND GRAHAM (1989)

Brown und Graham verwendeten für die Erstellung ihrer Studie Daten von 24 Versagensfällen von Stauanlagen (siehe Tabelle 3.2.1). Die Studie wurde vom U.S. Bureau of Reclamation in Auftrag gegeben. Das U.S. Bureau of Reclamation hatte bereits 1978 beschlossen, dass der potentielle Verlust von Menschenleben als primärer Entscheidungsfaktor verwendet werden soll, um festzustellen welche Dämme besonderer Aufmerksamkeit bedürfen bzw. modifiziert werden müssen. Dabei sollten entweder die Auswirkungen oder die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Versagen kommt reduziert werden. Bis zur Erstellung der Arbeit von Brown und Graham wurde die Einteilung ausschließlich nach der Bevölkerung stromabwärts des Damms vorgenommen. Die Überschwemmungsgebiete wurden abgeschätzt und jene Stauanlagen mit großer Bevölkerung im Überschwemmungsgebiet der höchsten Gefährdungsklasse zugeordnet und genauer untersucht.

Die Annahme, dass die Anzahl der Opfer rein durch die Personen im Gefahrengebiet widergegeben werden kann, ist dabei eine sehr vereinfachte. Bei großen Entfernungen zum Sperrenstandort sind aufgrund der längeren Zeit bis die Flutwelle im betroffenen Gebiet ankommt auch die Opferzahlen deutlich geringer. Genau auf diesen Ansatz baut die Arbeit von Brown und Graham auf.<sup>104</sup>

---

<sup>104</sup> Brown, C. A.; Graham, W. J. (1988): Assessing the Threat to Life from Dam failure, *Journal Of The American Water Resources Association*, 24(6), S.1303-1309. doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb03051.x

Tabelle 3.2.1: Verwendete Daten von Brown und Graham (1989)<sup>105</sup>

Versagensfall	Population at Risk (PAR)	Loss of Life (LOL)	Vorwarnzeit (WT)
Baldwin Hills, California, 1963	16.500	5	1,5
Bearwallow, North Carolina, 1976	4	4	0
Big Thompson, Colorado, 1976	2.500	139	<1,0
Black Hills, South Dakota, 1973	17.000	245	<1,0
Buffalo Creek, West Virginia, 1972	4.000	125	<1,0
Bushy Hill Pond, Connecticut, 1982	400	0	2-3
Denver, Colorado, 1965	3.000	1	3
DMAD, Utah, 1983	500	1	1-12
Kansas City, Missouri, 1977	1.000	25	<1,0
Kansas River, Kansas, 1951	58.000	11	>1,5
Kelly Barnes, Georgia, 1977	250	39	<0,5
Laurel Run, Pennsylvania, 1977	150	40	0
Lawn Lake, Colorado, 1982	5.000	3	<1,5
Lee Lake, Massachusetts, 1968	80	2	<1,0
Little Deer Creek, Utah, 1963	50	1	<1,0
Malpasset, France, 1959	6.000	421	0
Mohegan Park, Connecticut, 1963	500	6	0
Montana, 1964 (Swift and Two Medicine Dams)	250	27	<1,5
Northern New Jersey, 1984	25.000	2	>2,0
Prospect Dam, Colorado, 1980	100	0	>5,0
Teton, Idaho, 1976 (Dam through Wilford)	2.000	7	<1,5
Teton, Idaho, 1976 (Rexburg to American Falls)	23.000	4	>1,5
Texas Hill Country, 1978	1.500	25	<1,5
Vega De Tera, Spain, 1959	500	150	0

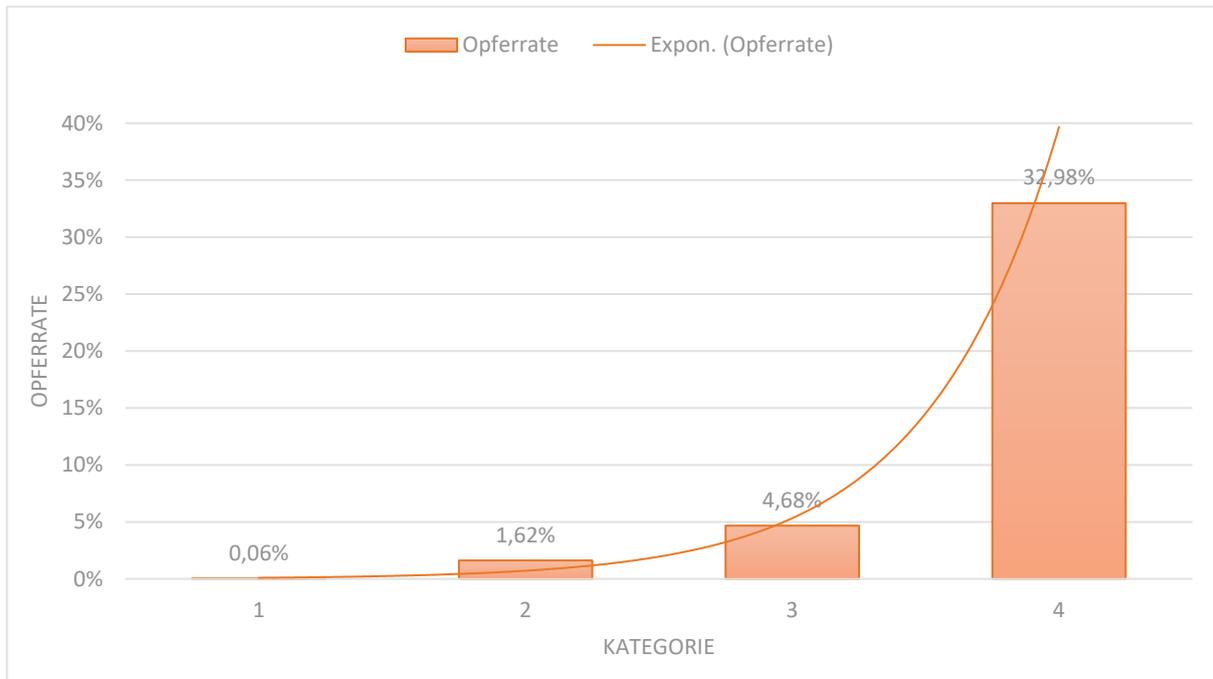
Zur Veranschaulichung der Daten aus Tabelle 3.2.1 wurden 4 Kategorien der Vorwarnzeit (Warning Time) erstellt und die Opferraten errechnet. Die Opferrate ergibt sich dabei aus den Quotienten der Anzahl der gefährdeten Personen (Population at Risk – *PAR*) und der errechneten Todesopfer (Loss of Life – *LOL*). Die Opferraten je Kategorie bilden dabei jeweils einen Durchschnittswert der vorhandenen Daten (siehe Tabelle 3.2.2 und Diagramm 3.1).

$$\text{Opferrate} = \frac{PAR}{LOL} \quad 3-1$$

<sup>105</sup> Brown, C. A.; Graham, W. J. (1988): Assessing the Threat to Life from Dam failure, *Journal Of The American Water Resources Association*, 24(6), S.1303-1309. doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb03051.x, S.1305

**Tabelle 3.2.2: Opferraten für unterschiedliche Vorwarnzeiten aus Tabelle 3.2.1**

Kategorie	Vorwarnzeit [Stunden]	Opferrate [%]
1	≥ 2,5	0,06
2	1,5 bis 2,5	1,62
3	> 0 bis 1,5	4,68
4	0	32,98



**Diagramm 3.1: Berechnete Opferraten für die Vorwarnzeit-Kategorien aus Tabelle 3.2.2**

In Diagramm 3.1 ist ganz klar erkennbar, dass je kürzer die Vorwarnzeit ist, desto höher ist die Opferrate. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen von Brown und Graham wieder. In ihrer Studie haben Brown und Graham empirische Formeln abgeleitet, welche in erster Linie die Vorwarnzeit berücksichtigen. Die Vorwarnzeit ist dabei als Zeit vom Ausgeben einer offiziellen Warnung zum Evakuieren bis zum Eintreffen der Flutwelle definiert. Die Einteilung der Formeln basiert dabei auf 3 Kategorien der Vorwarnzeit:<sup>106</sup>

- Weniger als 15 Minuten:

$$LOL = 0,5 \cdot PAR \quad \text{3-2}$$

- Zwischen 15 und 90 Minuten:

$$LOL = PAR^{0,6} \quad \text{3-3}$$

- Mehr als 90 Minuten:

$$LOL = 0,0002 \cdot PAR \quad \text{3-4}$$

<sup>106</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.18

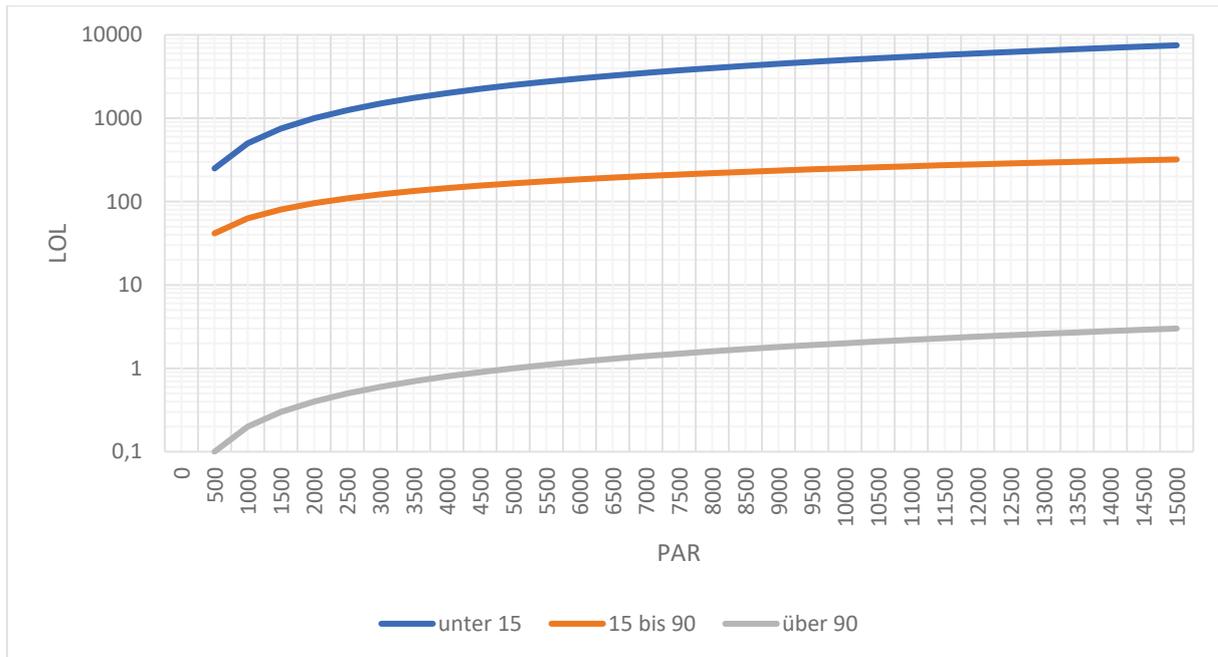


Diagramm 3.2: LOL nach Brown und Graham (1989)

In Diagramm 3.2 sind die Gleichungen 3-2, 3-3 und 3-4 bis  $PAR \leq 15.000$  ausgewertet. Es ist zu erkennen, dass bei der Verwendung von diesem Berechnungsansatz das Ergebnis, abhängig von der gewählten Vorwarnzeit, sehr weit streuen kann. Bei 5.000 Personen in Gefahr kann das Ergebnis 2.500 Opfer sein, wenn die Vorwarnzeit weniger als 15 Minuten beträgt, oder aber nur eine Person, wenn die Vorwarnzeit mehr als 90 Minuten beträgt.

### 3.2.1.1 ANALYSE DER DATEN

Für die Erstellung ihrer Datengrundlage (Tabelle 3.2.1) haben Brown und Graham die beiden Faktoren Vorwarnzeit (Warning Time = WT) und Bevölkerung in Gefahr (Population at Risk = PAR) abgeschätzt. Dabei sind sie zu dem Entschluss gekommen, dass die Vorwarnzeit nicht genau genug abgeschätzt werden kann um einen kontinuierlichen Zusammenhang zu erstellen. Deshalb wurde eine dichotome Annahme getroffen, bei der die Vorwarnzeit entweder größer als 90 Minuten war oder kleiner.

Für die beiden Fälle, ausreichende Vorwarnzeit ( $WT > 1,5$  Stunden) und unzureichender Vorwarnzeit ( $WT < 1,5$  Stunden), wurden eigene Formeln durch eine logistische Regressionsanalyse entwickelt.

#### LOGISTISCHE REGRESSIONSANALYSE

Dabei handelt es sich um ein Verfahren, bei dem eine Wahrscheinlichkeit aus Daten errechnet werden kann, bei denen die Werte entweder 1 oder 0 annehmen können. In diesem Fall 1 für Todesfall und 0 für Überlebender. So wird jede Person im Gefahrengebiet entweder mit einer 1, für verstorben, oder einer 0, für überlebt, kodiert. Ein kleiner Auszug der Daten ist in Tabelle 3.2.3 zu sehen.

Tabelle 3.2.3: Auszug aus der Datenerstellung für die logistische Regressionsanalyse

	PAR Nr.	Kodierung
<b>BALDWIN HILLS, CALIFORNIA, 1963</b>	1	1
<b>PAR (total) = 16500</b>	2	1
<b>LOL = 5</b>	3	1
	4	1
	5	1
	6	0
	7	0
	8	0
	9	0
	10	0
	(...)	(...)

Dies wurde für die 24 Datensätze von Stauanlagenversagen durchgeführt und in zwei Berechnungen aufgeteilt. Eine für Vorwarnzeiten größer als 90 Minuten und eine für Vorwarnzeiten kleiner als 90 Minuten.

#### **VORWARNZEITEN GRÖßER ALS 90 MINUTEN**

Da die Vorwarnzeit als binär angenommen wurde, ist nur der Prädiktor *PAR* in der Formel der logistischen Regressionsanalyse vorhanden.

$$L(p) = a + b \cdot PAR \quad 3-5^{107}$$

mit

$$L(p) = \text{logit} = \ln(\text{odds})$$

*a* Konstante (Intercept)

*b* Regressionskoeffizient für PAR

*odds* Quotient aus der Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis eintritt und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis nicht eintritt.

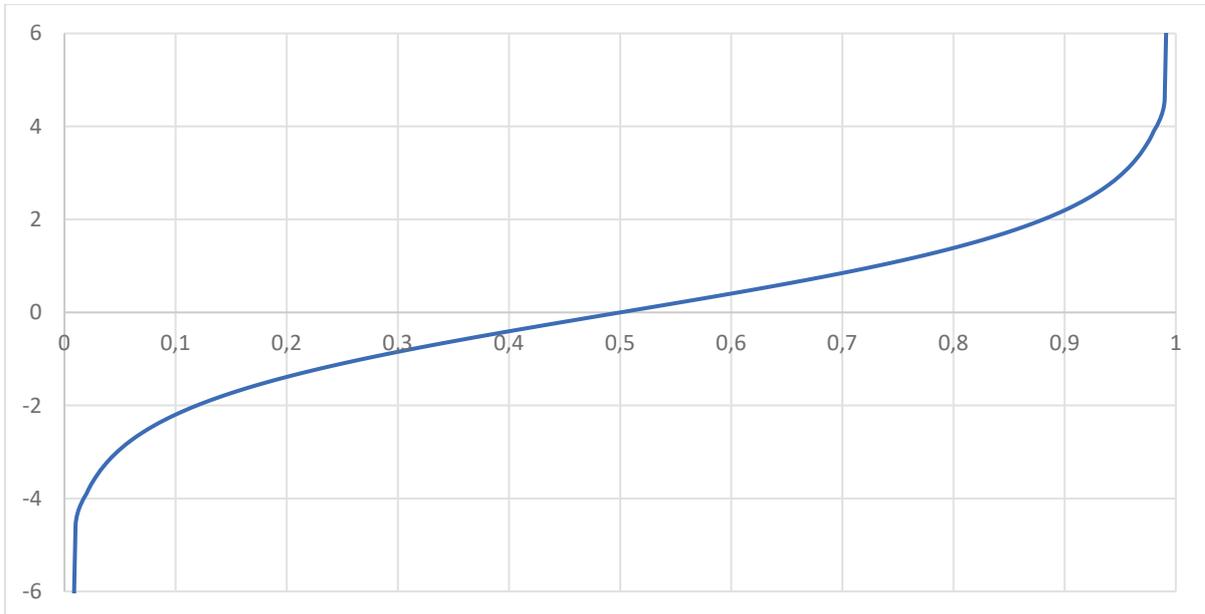
$$p = \frac{\text{Gesuchtes Ergebnis}}{\text{Alle möglichen Ergebnisse}}$$

<sup>107</sup> Tröthmann, M.: Eigens erstellte Rückschlüsse nach Studium von Regressionsanalysen, Quellen:

- Kleinbaum, D. G.; Klein, M. (2010): Logistic Regression: A Self-Learning Text, 3rd ed.; *Statistics for Biology and Health*; Springer: New York
- Harrell, F. E. (2015): Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis, Second edition, *Springer Series in Statistics*, Springer: Cham
- DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K
- Mathe Online: Lineare Regression, URL: <http://www.mathe-online.at/nml/materialien/innsbruck/regression/Regression.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Foltz, B.: Youtube-Channel, URL: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLIeGtxpvyG-JmBQ9XoFD4rs-b3hkcX7Uu> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Wikipedia: Logit, URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Logit> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Wikipedia: Logistic Regression, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic\\_regression](https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_regression) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Rodríguez, G.: Generalized Linear Models, URL: <http://data.princeton.edu/wws509/notes/c3.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Learn Analytics (17.01.2017): 5. Logistic Regression – Generating Logistic estimates using Excel and Log Loss, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=x-vmTL2wU6A> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

$$\text{odds} = \frac{\text{Wahrscheinlichkeit des Eintretens}}{\text{Wahrscheinlichkeit des nicht Eintretens}} = \frac{p}{1-p}$$

$$L(p) = \text{logit} = \ln(\text{odds}) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad 3-6$$



**Diagramm 3.3: Darstellung der logit-Linkfunktion**

Die logit-Funktion (ausgewertet in Diagramm 3.3) dient dabei als Linkfunktion, sodass die Wahrscheinlichkeit nur mehr Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Genau das liegt auch im gegebenen Fall vor, da die Wahrscheinlichkeit für einen Todesfall (Opferrate) gleich

$$p = \frac{LOL}{PAR} \quad 3-7$$

ist und die Opfer nie mehr sein können als Personen in der Gefahrenzone sind.

Um die beiden Koeffizienten  $a$  und  $b$  aus Gleichung 3-5 zu lösen, wird eine Maximum Likelihood Estimation (MLE) angewendet, bei der der LogLoss reduziert wird.

$$\text{LogLoss} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i \cdot \ln(p_i) + (1 - y_i) \cdot \ln(1 - p_i)) \quad 3-8$$

Dadurch ergibt sich eine Lösung für die logit-Funktion (Gleichung 3-6), mit

$$L(p) = -8,3772 - 5,2030 \cdot 10^{-6} \cdot PAR = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad 3-9$$

Daraus kann für jede beliebige Anzahl von Personen in der Gefahrenzone ( $PAR$ ) die logit-Funktion und durch Umformen die Wahrscheinlichkeit des Ereigniseintritts errechnet werden (siehe Gleichung 3-10).

$$p = \frac{e^{-8,3772-5,2030 \cdot 10^{-6} \cdot PAR}}{1 + e^{-8,3772-5,2030 \cdot 10^{-6} \cdot PAR}} \quad 3-10$$

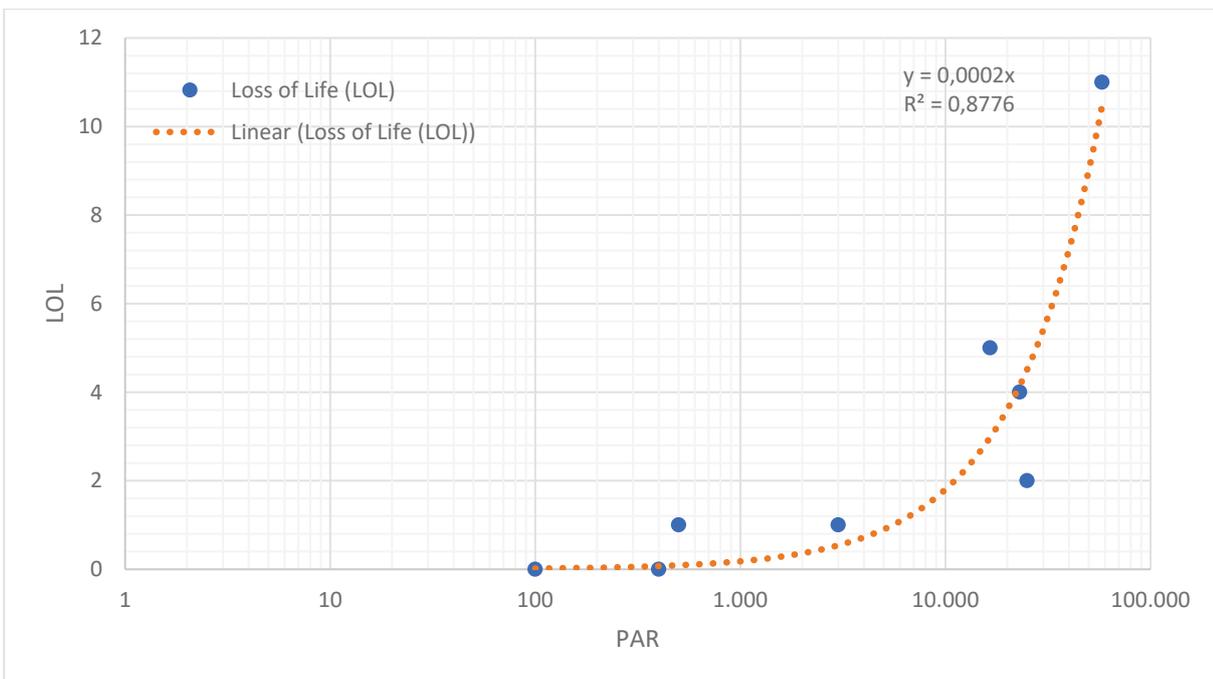
Setzt man nun in Gleichung 3-10 für die vorhandenen Personen in der Gefahrenzone (*PAR*) ein, so gelangt man zu dem Ergebnis, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit im Allgemeinen bei  $2 \cdot 10^{-4}$  liegt (siehe Tabelle 3.2.4).

**Tabelle 3.2.4: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse Brown und Graham für WT > 1,5**

Versagensfall	Population at Risk (PAR)	Loss of Life (LOL)	Vorwarnzeit (WT)	p estimated	LOL estimated
Baldwin Hills, California, 1963	16.500	5	1,50	$2,1109 \cdot 10^{-4}$	3
Bushy Hill Pond, Connecticut, 1982	400	0	2,50	$2,2953 \cdot 10^{-4}$	0
Denver, Colorado, 1965	3.000	1	3,00	$2,2644 \cdot 10^{-4}$	1
DMAD, Utah, 1983	500	1	6,50	$2,2941 \cdot 10^{-4}$	0
Kansas River, Kansas, 1951	58.000	11	1,50	$1,7010 \cdot 10^{-4}$	10
Northern New Jersey, 1984	25.000	2	2,00	$2,0196 \cdot 10^{-4}$	5
Prospect Dam, Colorado, 1980	100	0	5,00	$2,2989 \cdot 10^{-4}$	0
Teton, Idaho, 1976 (Rexburg to American Falls)	23.000	4	1,50	$2,0407 \cdot 10^{-4}$	5

Brown und Graham kamen zum selben Schluss und definierten LOL für Vorwarnzeiten größer als 90 Minuten mit:

$$LOL = 0,0002 \cdot PAR \quad 3-4$$



**Diagramm 3.4: Vergleich Brown und Graham und eigene Berechnung WT > 1,5**

Auch durch eine einfachere lineare Regressionsanalyse (siehe Diagramm 3.4) kommt man zu der Lösung einer Eintrittswahrscheinlichkeit von  $2 \cdot 10^{-4}$ . Wobei das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  mit etwa 0,88 sehr aussagekräftig ist. Zum Vergleich dazu, Brown und Graham ermittelten ein Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von 0,87.

### VORWARZEIT KLEINER 90 MINUTEN

Bei Vorwarnzeiten unter 90 Minuten ist kein linearer Zusammenhang der Opferraten zu erkennen. Aus diesem Grund wird der Prädiktor  $PAR$  abgeändert und für die Berechnung der Prädiktor  $\ln(PAR)$  gewählt. Damit kann die Ordnung ( $n$ ) des nichtlinearen Zusammenhangs ermittelt werden.

$$LOL = PAR^n \quad 3-11$$

$$\frac{\ln(LOL)}{\ln(PAR)} = n \quad 3-12$$

Die Formel für die logistische Regressionsanalyse sieht also wie folgt aus:

$$L(p) = a + b \cdot \ln(PAR) \quad 3-13^{108}$$

Wie im vorherigen Beispiel wird diese Formel mit Hilfe einer Maximum Likelihood Estimation (MLE) ermittelt.

$$L(p) = 0,5005 - 0,4506 \cdot \ln(PAR) \quad 3-14$$

Daraus kann die Wahrscheinlichkeit für einen Todesfall je Person im Gefahrengebiet wie folgt berechnet werden:

$$p = \frac{e^{0,5005 - 0,4506 \cdot \ln(PAR)}}{1 + e^{0,5005 - 0,4506 \cdot \ln(PAR)}} = \frac{LOL}{PAR} \quad 3-15$$

Berechnet man aus Gleichung 3-15 die Wahrscheinlichkeit  $p$  für unterschiedliche Anzahlen von Personen im Gefahrengebiet ergibt sich eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, die noch

<sup>108</sup> Tröthann, M.: Eigens erstellte Rückschlüsse nach Studium von Regressionsanalysen, Quellen:

- Kleinbaum, D. G.; Klein, M. (2010): Logistic Regression: A Self-Learning Text, 3rd ed.; *Statistics for Biology and Health*; Springer: New York
- Harrell, F. E. (2015): Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis, Second edition, *Springer Series in Statistics*, Springer: Cham
- DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K
- Mathe Online: Lineare Regression, URL: <http://www.mathe-online.at/nml/materialien/innsbruck/regression/Regression.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Foltz, B.: Youtube-Channel, URL: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLIeGtxpvyG-JmBQ9XoFD4rs-b3hkcX7Uu> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Wikipedia: Logit, URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Logit> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Wikipedia: Logistic Regression, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic\\_regression](https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_regression) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Rodríguez, G.: Generalized Linear Models, URL: <http://data.princeton.edu/wws509/notes/c3.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Learn Analytics (17.01.2017): 5. Logistic Regression – Generating Logistic estimates using Excel and Log Loss, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=x-vmTL2wU6A> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

immer sehr stark streut. Mit dem vorhin genannten Zusammenhang aus Gleichung 3-12 ergibt sich allerdings ein deutlicheres Bild für den Exponenten  $n$  (siehe Tabelle 3.2.5).

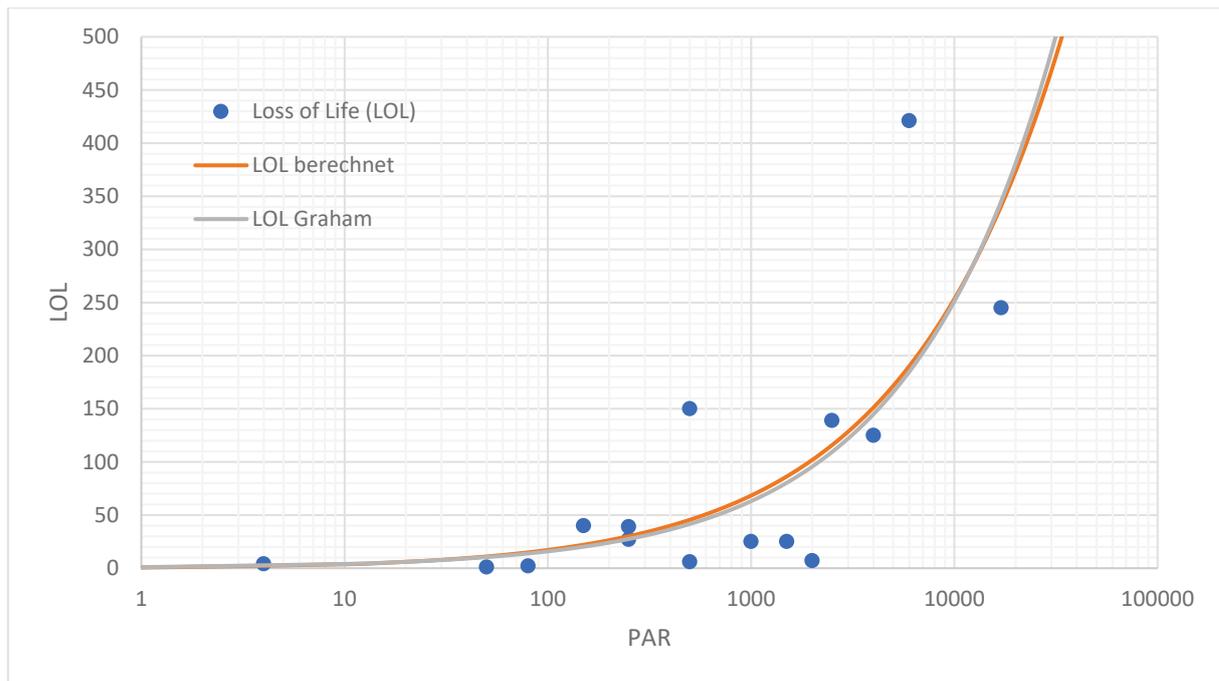
Tabelle 3.2.5: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse Brown und Graham für  $WT < 1,5$

Versagensfall	Population at Risk (PAR)	Loss of Life (LOL)	Vorwarnzeit (WT)	p	LOL estimated	n
Bearwallow, North Carolina, 1976	4	4	0,00	0,46898947	2	0,453813712
Big Thompson, Colorado, 1976	2.500	139	1,00	0,04630439	116	0,607297996
Black Hills, South Dakota, 1973	17.000	245	1,00	0,02005752	341	0,598689699
Buffalo Creek, West Virginia, 1972	4.000	125	1,00	0,03780064	151	0,605086868
Kansas City, Missouri, 1977	1.000	25	1,00	0,06835613	68	0,611592495
Kelly Barnes, Georgia, 1977	250	39	0,50	0,12051703	30	0,616774568
Laurel Run, Pennsylvania, 1977	150	40	0,00	0,14712120	22	0,617513855
Lee Lake, Massachusetts, 1968	80	2	1,00	0,18631958	15	0,616549140
Little Deer Creek, Utah, 1963	50	1	1,00	0,22057536	11	0,613622958
Malpasset, France, 1959	6.000	421	0,00	0,03168845	190	0,603218908
Mohegan Park, Connecticut, 1963	500	6	0,00	0,09113280	46	0,614547289
Montana, 1964 (Swift and Two Medicine Dams)	250	27	1,50	0,12051703	30	0,616774568
Teton, Idaho, 1976 (Dam through Wilford)	2.000	7	1,50	0,05095287	102	0,608355159
Texas Hill Country, 1978	1.500	25	1,50	0,05759901	86	0,609713687
Vega De Tera, Spain, 1959	500	150	0,00	0,09113280	46	0,614547289
					<b>Mittelwert</b>	<b>0,600539879</b>

Die erwartete Anzahl der Todesopfer ergibt sich zu:

$$\frac{\ln(LOL)}{\ln(PAR)} \approx 0,6 \quad \text{3-16}$$

$$LOL = PAR^{0,6} \quad \text{3-17}$$



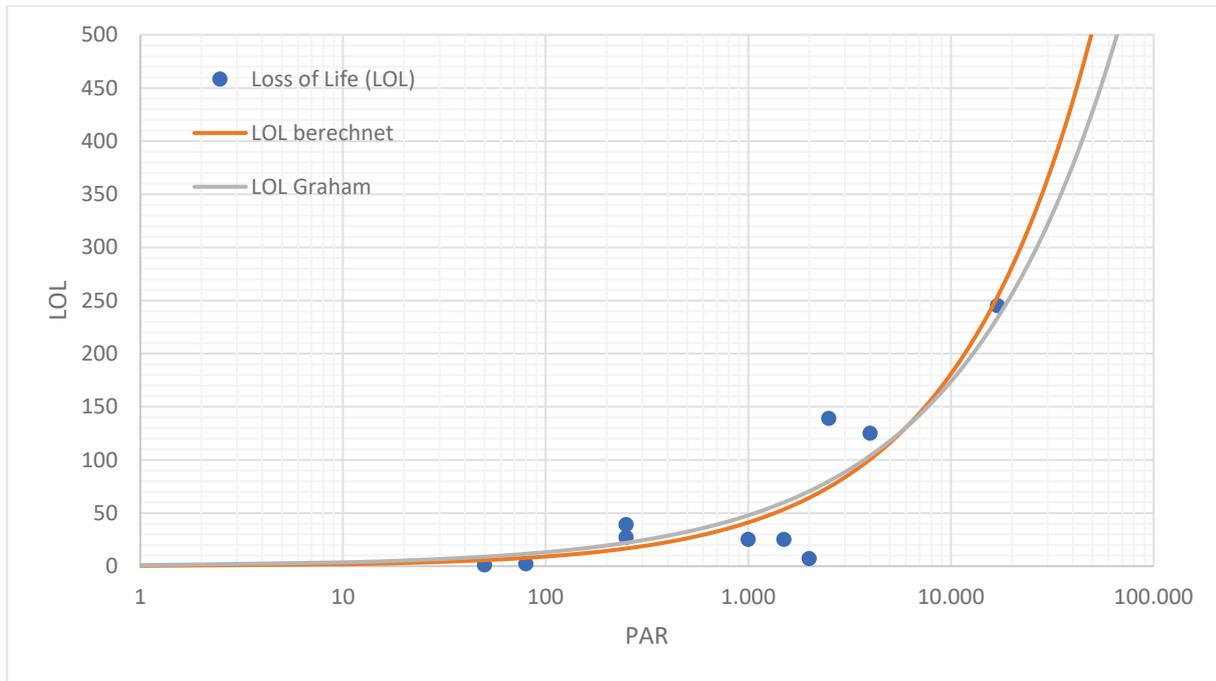
**Diagramm 3.5: Vergleich Brown und Graham und eigene Berechnung WT < 1,5**

Wie in Diagramm 3.5 gut zu erkennen ist, entspricht das errechnete Ergebnis wiederum dem Ergebnis von Brown und Graham. Brown und Graham begründen dabei den nichtlinearen Zusammenhang von *LOL* und *PAR*, durch die bessere Kommunikation und öffentliche Sicherheitsmaßnahmen von größeren Gemeinden und den förderlichen Effekt einer höheren Bevölkerungsdichte, Warnungen zu verbreiten. Auch die größere Infrastruktur sollte die Evakuierung in größeren Gemeinden beschleunigen. Diese Begründung ist durch eine Darstellung der Opferraten besser zu erkennen. Hier gilt: Je größer die Bevölkerung desto geringer ist die Opferrate.<sup>109</sup>

Im Bericht von DeKay und McClelland<sup>110</sup>, wird der Exponent in Gleichung 3-17 oft mit 0,56 anstelle von 0,6 angegeben. DeKay und McClelland verweisen dabei darauf, dass es sich bei 0,6 um einen gerundeten Exponenten handelt. Im Zuge dieser Arbeit wurde festgestellt, dass ein Exponent von 0,56 erreicht wird, wenn nicht alle Fälle mit einer Vorwarnzeit unter 90 Minuten herangezogen werden. Werden alle Fälle ohne Vorwarnzeit ausgeschlossen, also eine Kategorie zwischen 15 und 90 Minuten Vorwarnzeit gebildet, so kann die Aussage von DeKay und McClelland bestätigt werden. Die Berechnung wird dabei in analoger Art und Weise durchgeführt. Zu sehen sind in Diagramm 3.6 der berechnete Anstieg der Opfer und der Anstieg mit einem Exponenten von 0,56. Die Übereinstimmung ist deutlich zu erkennen.<sup>110</sup>

<sup>109</sup> Brown, C. A.; Graham, W. J. (1988): Assessing the Threat to Life from Dam failure, *Journal Of The American Water Resources Association*, 24(6), S.1303-1309. doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb03051.x

<sup>110</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K



**Diagramm 3.6: Vergleich Brown und Graham mit Exponent 0,56 und eigene Berechnung  $0,25 < WT < 1,5$**   
**VORWARZEIT ZWISCHEN 0 UND 15 MINUTEN**

Nach den Beobachtungen von Brown und Graham wurden die Kategorien der Vorwarnzeit noch in eine dritte Kategorie unterteilt. Diese Kategorie bezieht sich auf Vorwarnzeiten unter 15 Minuten. Die erarbeitete Gleichung 3-18 lässt sich dabei nicht direkt aus den Daten der Fallbeispiele ableiten, sondern eher durch eine optische Anpassung ermitteln. Es handelt sich dabei also um eine reine Schätzung. <sup>111</sup>

$$LOL = 0,5 \cdot PAR$$

**3-18<sup>112</sup>**

<sup>111</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K, S.195

<sup>112</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.18

### 3.2.2 DEKAY UND MCCLELLAND (1993)

Aufbauend auf die Arbeit von Brown und Graham (Kapitel 3.2.1) erweiterten DeKay und McClelland<sup>113</sup> die Methode zur Bestimmung von möglichen Opferzahlen. Sie verwendeten dabei die gleichen Daten wie ihre Vorgänger und erweiterten sie um weitere Versagensfälle (siehe Tabelle 3.2.6). Weiters wurde der Parameter für Personen in Gefahr (*PAR*), von Personen die gefährlichen Überschwemmungen ausgesetzt sind, zu Personen deren Füße nass werden geändert. Dadurch kann dieser Parameter leichter festgelegt werden, indem alle die innerhalb der Überschwemmungsgrenze liegen zu den Personen in Gefahr zählen.

#### 3.2.2.1 LOGISTISCHE REGRESSIONSANALYSE

Da der Wert für die Opferzahl (*LOL*) nicht negativ sein darf und maximal der Personen in Gefahr (*PAR*) entsprechen darf, müssen Prognosen von *LOL/PAR* zwischen 0 und 1 liegen. Außerdem dürfen diese Zahlen jeweils nur ganzzahlig sein. Deshalb wird von DeKay und McClelland ein Modell der logistischen Regressionsanalyse gewählt. Dabei wird die unabhängige Variable  $p \left( = \frac{LOL}{PAR} \right)$  mit der logit-Transformation umgewandelt, um im Anschluss mittels Einführung von einigen unabhängigen Variablen (Prädiktor) zu einer Lösung zu gelangen. Die logit-Transformation sieht dabei wie folgt aus:<sup>114</sup>

$$L(p) = \text{logit} = \ln(\text{odds}) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad 3-19$$

Gleichung 3-19 zur Ermittlung von  $L(p)$  wird des Weiteren, im Vergleich zu der Berechnung von Brown und Graham, um drei Variablen erweitert zu denen jeweils ein Gewichtungsfaktor hinzugefügt wurde (siehe Gleichung 3-20):

- Kontinuierlicher Wert für die Vorwarnzeit (*WT*) mit Gewichtungsfaktor  $c$
- Wert für die Stärke der Flut (*Force*) mit Gewichtungsfaktor  $d$
- Abhängige Variable zwischen *WT* und *Force* ( $WT \cdot Force$ ) mit Gewichtungsfaktor  $e$

Für den kontinuierlicher Wert der Vorwarnzeit (*WT*) wird bei Angaben der Vorwarnzeiten in einem Bereich ein Mittelwert verwendet (z.B. 1 bis 12 = 6,5). Bei Angaben die auf größere („>“) oder kleinere („<“) Vorwarnzeiten hinweisen werden 50 % des angegebenen Wertes addiert oder subtrahiert (z.B. >1,5 = 2,25; <1,5 = 0,75). Der Faktor für die Stärke der Flutwelle (*Force*) berichten DeKay und McClelland, dass dieser Wert schwer zu ermitteln wäre und deshalb anhand der Zerstörung in den Gebieten eine binäre Einteilung erfolgt, in der 0 für schwach und 1 für stark stehen. Zusätzlich zu diesen beiden neuen Faktoren wird eine abhängige Variable zwischen der Vorwarnzeit und der Stärke hinzugefügt. Dies basiert auf

<sup>113</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K

<sup>114</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K, S.196

Beobachtungen die zeigen, dass die Stärke der Flutwelle nur dann von großer Bedeutung ist, wenn keine oder nicht genügend Vorwarnzeit vorhanden ist.<sup>115</sup>

Tabelle 3.2.6: Verwendete Daten von DeKay und McClelland (1993)<sup>116</sup>

Location	PAR	WT	WT dichotomous	WT continuous	Flooding forcefulness (Force)	Actual Loss of Life (LOL)	Predicted Loss of Life (LOL)
Alleghny County, Pennsylvania, 1986 <sup>B)</sup>	2.200	-	0	0,00	0	9	6
Austin, Texas, 1981 <sup>B)</sup>	1180	-	0	1,00	1	13	9
Baldwin Hills, California, 1963	16.500	1,5	1	1,50	1	5	9
Bearwallow, North Carolina, 1976	8 <sup>C)</sup>	0,0	0	0,00	1	4	5
Big Thompson, Colorado, 1976	2.500	<1,0	0	0,50	1	144 <sup>C)</sup>	59
Black Hills, South Dakota, 1973	17.000	<1,0	0	0,50	1	245	174
Buffalo Creek, West Virginia, 1972	5.000 <sup>C)</sup>	<1,0	0	0,50	1	125	87
Bushy Hill Pond, Connecticut, 1982	400	2 - 3	1	2,50	0	0	0
Centralia, Washington, 1991 <sup>B)</sup>	150	-	0	0,00	0	0	1
Denver, Colorado, 1965	10.000 <sup>C)</sup>	2,33–4,0 <sup>C)</sup>	1	3,17	0	1	1
DMAD, Utah, 1983	500	1 – 12	1	6,50	0	1	0 <sup>D)</sup>
Kansas City, Missouri, 1977	2.380 <sup>C)</sup>	<1,0	0	0,50	1	20 <sup>C)</sup>	57
Kansas River, Kansas, 1951	58.000	>2,0 <sup>C)</sup>	1	3,00	1	11	0 <sup>D)</sup>
Kelly Barnes, Georgia, 1977	250	<0,5	0	0,25	1	39	31
Laurel Run, Pennsylvania, 1977	150	0,0	0	0,00	1	40	40
Lawn Lake, Colorado, 1982	5.000	0,0–1,0 <sup>C)</sup>	0	0,50	0	3	5
Lee Lake, Massachusetts, 1968	80	0,0 <sup>C)</sup>	0	0,00	1	2	26
Little Deer Creek, Utah, 1963	50	0,0 <sup>C)</sup>	0	0,00	0	1	1
Malpasset, France, 1959	6.000	0,0	0	0,00	1	421	406
Mohegan Park, Connecticut, 1963	1.000 <sup>C)</sup>	0,0	0	0,00	0	6	4
Northern New Jersey, 1984	25.000	>2,0	1	3,00	0	2	2
Prospect Dam, Colorado, 1980	100	>5,0	1	7,5	0	0	0 <sup>D)</sup>
Shadyside, Ohio, 1990 <sup>B)</sup>	884	-	0	0,00	1	24	127
Stava, Italy, 1985 <sup>B)</sup>	300	-	0	0,00	1	270	64
Swift and Two Medicine Dams, Montana, 1964	250	<1,5	0	0,75	1	28 <sup>C)</sup>	8
Teton, Idaho, 1976 (Dam through Wilford)	2.000	<1,5	0	0,75	1	7	25
Teton, Idaho, 1976 (Rexburg to American Falls)	23.000	>1,5	1	2,25	0	4	4
Texas Hill Country, 1978	2.070 <sup>C)</sup>	<1,5	0	0,75	1	25 <sup>C)</sup>	25
Vega De Tera, Spain, 1959	500	0,0	0	0,00	1	150	89
A)	Original data (PAR, WT, and actual LOL) are from Ref. 2. Except as noted.						
B)	New Case. See footnote 8.						
C)	Value has been revised. See footnote 8.						
D)	This case not used to derive Equation.						

<sup>115</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K, S.196

<sup>116</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K, S.197

„The lethality of the flooding can significantly affect the loss of life when warning time is short and many of the population at risk will not have time to evacuate prior to flooding. When warning time is adequate, the lethality of flooding can have only little effect since the warning and evacuation will have removed nearly all of the population from the hazard area.”<sup>117</sup>

Die ermittelte Regressionsgleichung ergibt sich also, als

$$L(p) = a + b \cdot \ln(PAR) + c \cdot WT + d \cdot Force + f \cdot WT \cdot Force \quad 3-20^{117}$$

Die Lösung der Gleichung ergibt sich zu:

$$L(p) = -2,586 - 0,440 \cdot \ln(PAR) - 0,759 \cdot WT + 3,790 \cdot Force - 2,223 \cdot WT \cdot Force \quad 3-21^{117}$$

Aus praktischen Gründen ist es jedoch besser, wenn der *LOL* direkt berechnet werden kann. Durch umformen und vereinfachen von Gleichung 3-21 ergibt sich folgende Formel:

$$LOL = \frac{PAR}{1 + 13,244 \cdot PAR^{0,440} \cdot \exp(0,759 \cdot WT - 3,790 \cdot Force + 2,223 \cdot WT \cdot Force)} \quad 3-22^{117}$$

Eine einfachere Approximation von Gleichung 3-22 zeigt, dass die Annahme, dass die Stärke der Flut nur dann einen großen Einfluss hat, wenn die Vorwarnzeit gleich 0 oder nur sehr gering ist.

$$LOL \approx 0,075 \cdot PAR^{0,560} \cdot e^{[-0,759 \cdot WT + (3,790 - 2,223 \cdot WT) \cdot Force]} \quad 3-23^{117}$$

Die Annahme, dass je mehr Vorwarnzeit vorhanden ist, desto geringer ist der Einfluss der Stärke der Flut, kann bestätigt werden.

Eine andere zweckmäßige Vereinfachung von Gleichung 3-22 wird erzielt, indem die Gleichung in eine Gleichung für starke Kräfte ( $Force = 1$ ), siehe Gleichung 3-24, und eine Gleichung für schwache Kräfte ( $Force = 0$ ), siehe Gleichung 3-25 aufgeteilt wird.

$$LOL_{HF} = \frac{PAR_{HF}}{1 + 13,277 \cdot PAR_{HF}^{0,440} \cdot e^{[2,982 \cdot WT_{HF} - 3,790]}} \quad 3-24^{117}$$

$$LOL_{LF} = \frac{PAR_{LF}}{1 + 13,277 \cdot PAR_{LF}^{0,440} \cdot e^{[0,759 \cdot WT_{HF}]}} \quad 3-25^{117}$$

<sup>117</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K, S.199

Durch diese Gleichungen kann die Interaktionsvariable ( $WT \cdot Force$ ) auch so interpretiert werden, dass die Vorwarnzeit abhängig von der Stärke der Flut ist. So lässt sich zeigen, dass eine Minute Vorwarnzeit für starke Kräfte der Flut einen größeren Einfluss hat als bei schwachen Kräften. Daraus lässt sich ableiten, dass Personen die von einer starken Flut bedroht werden, die Vorwarnzeit effizienter nutzen. Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass starke Flutwellen überwiegend in engen Tälern zu erwarten sind und sich somit auch die Fluchtwege verkürzen (Hang an der Seite des Tals). Diagramm 3.7 und Diagramm 3.8 zeigen dabei die Anzahl der Opfer für starke und schwache Flutwellen nach der Vorwarnzeit.

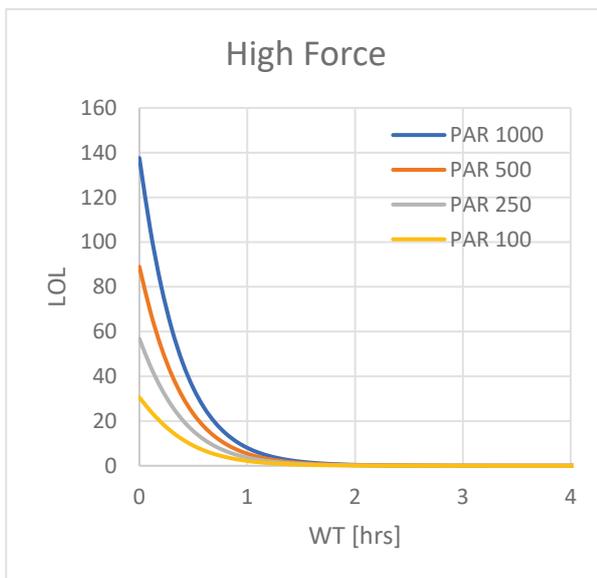


Diagramm 3.7: Anzahl der Opfer bei starker Stärke der Flutwelle

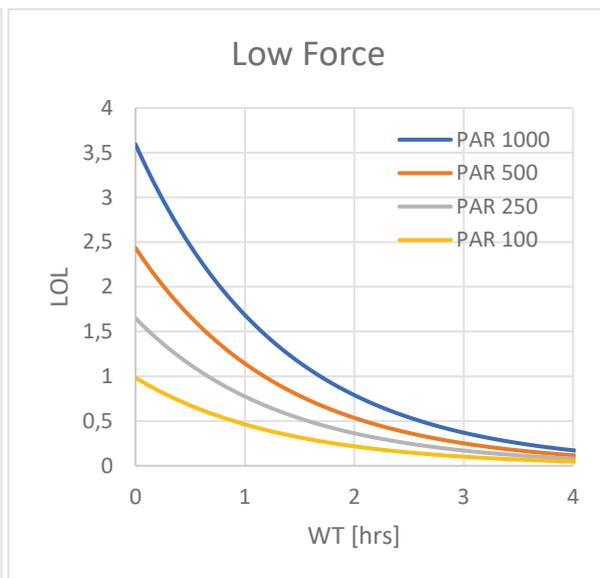


Diagramm 3.8: Anzahl der Opfer bei schwacher Stärke der Flutwelle

Auffällig in Diagramm 3.7 und Diagramm 3.8 ist der deutliche Unterschied in den Opferzahlen, welche bei keiner Vorwarnzeit bei starken Flutwellen um etwa einen Faktor 35 höher sind, als bei schwachen Flutwellen. Weiters fällt auf, dass Vorwarnzeiten bei starken Flutwellen einen größeren Effekt aufweisen als bei schwachen Flutwellen. Die Anzahl der Opfer nimmt mit zusätzlicher Vorwarnzeit bei starken Flutwellen stärker ab und fällt nach etwa 1,7 Stunden Vorwarnzeit sogar unter die Opferzahl bei schwachen Flutwellen. Dieser Umstand ist allerdings durch die eingeführte Variable  $WT \cdot Force$  leicht erklärbar, da dieser Faktor nur bei starken Flutwellen ( $Force = 1$ ) berücksichtigt wird. Ein dritter auffälliger Punkt ist, dass die Vorwarnzeit ab einer Länge von 3 Stunden nur mehr geringen Einfluss auf die Opferzahl hat. Aus diesem Grund empfehlen DeKay und McClelland, dass Gebiete, die mehr als 3 Stunden Reisezeit der Flutwelle, stromab des Damms liegen nicht mehr zu den Gefahrenzonen zählen sollen.<sup>118</sup>

<sup>118</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K

### 3.2.3 GRAHAM METHODE (DSO-99-06)

Die Methode wurde von Wayne J. Graham 1999 aus Daten von amerikanischen Talsperrenbrüchen, aus der Zeit von 1960 bis 1998, entwickelt. Aus seinen Studien konnte Graham für unterschiedliche Szenarien (Schwere der Flut, Vorwarnzeit, etc.) Sterblichkeitsraten ableiten. Veröffentlicht wurde diese Arbeit vom Dam Safety Office (DSO) des U.S. Department of Interior mit der Abkürzung DSO-99-06.<sup>119</sup>

Aus der Arbeit geht hervor, dass bis Mitte der 1980er 5.459 Stauanlagen in den Vereinigten Staaten existierten, die eine Höhe über 15 m aufwiesen, und rund 71.000 Stauanlagen, die höher als 7,6 m waren. Von 1960 bis 1998 starben mehr als 300 Menschen durch das Versagen von Stauanlagen. Auffällig ist, dass in dieser Zeitperiode etwa 88 % der Todesfälle durch Stauanlagen niedriger als 15 m verursacht wurden. Anlagen unter 15 m sind zu klein, um in das Register der International Commission on Large Dams (ICOLD) zu fallen. Das heißt, dass vor allem kleine Dämme, für die niedrigere Sicherheitsstandards gelten, ein auffallendes Risiko darstellen.<sup>120</sup>

#### Definition für große Stauanlagen laut ICOLD:<sup>121, 122</sup>

- Eine Sperre mit einer Höhe von 15 m oder höher, gemessen vom tiefsten Punkt des Fundaments zur Krone, oder
- eine Sperre zwischen 5 und 15 m hoch und einem Speicherinhalt von mehr als  $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Aus seinen Studien konnte Graham einige Interessante Daten ableiten:<sup>123</sup>

- Höhe des Damms:
  - Das Versagen von Stauanlagen, die niedriger als 6,1 m hoch waren, verursachte 2 % aller Todesopfer.
  - Das Versagen von Stauanlagen, die zwischen 6,1 m und 15 m hoch waren, verursachte 86 % aller Todesopfer.
  - Das Versagen von Stauanlagen, die niedriger als 15 m hoch waren, verursachte 88 % aller Todesopfer. Diese Anlagen sind nicht im Register der ICOLD.
- Anzahl der Toten:
  - In 65 % der Sperrenbrüche mit Todesfällen gab es 5 oder weniger Todesopfer.

<sup>119</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office

<sup>120</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.9

<sup>121</sup> International Commission on Large Dams, URL: [http://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition\\_of\\_a\\_large\\_dam.asp](http://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>122</sup> International Commission on Large Dams (2011): Constitution Statuts, S.3

<sup>123</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.9-10

- Wassereinzugsgebiet:
  - Das Versagen von Stauanlagen mit einem Wassereinzugsgebiet kleiner als 5,2 km<sup>2</sup> verursachte 47 % aller Todesopfer.
  - Das Versagen von Stauanlagen mit einem Wassereinzugsgebiet kleiner als 26 km<sup>2</sup> verursachte 75 % aller Todesopfer.
- Entfernung zum Damm:
  - 50 % der Todesfälle ereigneten sich in einer Entfernung von 4,8 km oder weniger zur Sperrenstelle.
  - Mehr als 99 % der Todesfälle ereigneten sich in einer Entfernung von 24 km oder weniger zur Sperrenstelle.

Bei der Auswertung solcher Daten ist es stets wichtig, dass nur der Anteil an Todesopfern, der direkt auf das Sperrenversagen zurückzuführen ist gewertet wird. Dies ist z.B. bei Erdbeben zu berücksichtigen. Die Opfer die durch das Erdbeben auch ohne ein Sperrenversagen zu verzeichnen sind, dürfen nicht zu den direkten Opfern gezählt werden.<sup>124</sup>

### **3.2.3.1 FAKTOREN DIE DEN VERLUST VON LEBEN DURCH EIN TALSPERRENVERSAGEN BEEINFLUSSEN**

Nach Graham sind folgende Faktoren ausschlaggebend bzw. verantwortlich für die Todesopfer eines Dammbbruchs:<sup>125</sup>

- Art und Ursache des Talperrenversagens.
- Die Anzahl der Personen in der Gefahrenzone (*PAR*)
- Zeitpunkt der Warnung vom Versagen.
- Hochwassertiefe und Fließgeschwindigkeiten im Überschwemmungsgebiet vor dem Versagen der Sperre.
- Hochwassertiefe und Fließgeschwindigkeiten im Überschwemmungsgebiet verursacht durch die Flutwelle.
- Visuelle oder Akustische Hinweise (optische Wahrnehmung oder Geräusche der Flutwelle) für die Personen im Gefahrengbiet.
- Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit
- Wetter, auch die Luft und Wassertemperatur.
- Tätigkeiten mit denen Personen beschäftigt sind.
- Gesundheit der Personen.
- Art des Gebäudes in dem sich Personen befinden.
- Leichtigkeit der Evakuierung.

<sup>124</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.10

<sup>125</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.11

Diese Faktoren können auf drei reduziert werden, welche die Zahl der Opfer besonders stark beeinflussen:

- Anzahl der Personen in Gefahr (*PAR*).
- Die Vorwarnzeit die diesen Personen zur Verfügung steht (*WT*).
- Die Schwere der Flut (und das Verständnis der Schwere der Flut)

### 3.2.3.2 UNSICHERHEITEN

Es ist sehr schwer, genaue Angaben über die mögliche Anzahl der Todesopfer zu geben, da viele Faktoren nicht beeinflussbar sind und für unterschiedliche Szenarien unterschiedliche Opferzahlen entstehen. Gründe für diese Unsicherheiten sind:<sup>126</sup>

- Der Zeitpunkt des Versagens der Anlage (Tag, Woche, Jahreszeit), die vorherrschenden Bedingungen zu diesem Zeitpunkt (klarer Tag, Regen, Schnee, Dunkelheit) und die Anzahl der Personen die sich zu diesem Zeitpunkt in der Gefahrenzone befinden (Saisonabhängig – Tourismusgebiet, Spezielle Veranstaltungen). Diese Faktoren sind unbekannt und können nur abgeschätzt werden.
- Der Zeitpunkt, zu dem es zu Warnungen der Bevölkerung in der Gefahrenzone (*PAR*) kommt ist unbekannt. Erfahrungen zeigen, dass eher eine Zurückhaltung darin besteht, Warnungen (voreilig) auszusprechen. Dies ist auch aus den Berichten in Kapitel 2.13.3 zu erkennen. Richtlinien wann Warnungen herausgegeben werden sollen (Emergency Action Plans = EAP) geben an dieser Stelle Hilfestellungen, was im Ernstfall zu beachten ist.
- Die Methode, um die Opferzahlen abzuschätzen, ist nicht genau. Das heißt, dass selbst dann, wenn alle anderen Faktoren zu 100 % bekannt sind, keine genauen Einschätzungen der Opferzahlen möglich sind. Dies liegt an unumgänglichen Fehlern in der Berechnung selbst.

---

<sup>126</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.12-13

### 3.2.3.3 ANWENDUNG DER METHODE NACH GRAHAM

Nach Graham wird der Prozess zur Abschätzung der Todesopfer in sieben Schritte unterteilt, welche in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben werden:<sup>127</sup>

1. Definition der zu untersuchenden Versagensszenarien.
2. Definition der Zeitkategorien für welche die Einschätzungen der Opfer gesucht ist.
3. Definition wann es zu Warnungen der Bevölkerung kommt.
4. Definition des Überflutungsgebiets für jedes Versagensszenario.
5. Einschätzung der Personen in der Gefahrenzone (*PAR*) für alle Versagensszenarien und Zeitkategorien.
6. Anwendung von empirischen Formeln um die Anzahl der Opfer zu berechnen.
7. Einschätzung und Evaluierung von Unsicherheiten.

#### **SCHRITT 1: DEFINITION DER ZU UNTERSUCHENDEN VERSAGENSZENARIOIS**

Die unterschiedlichen Versagensursachen müssen definiert und die zu untersuchenden evaluiert werden. Das kann zum Beispiel für zwei Szenarien erfolgen:<sup>127</sup>

- Versagen der Stauanlage mit vollem Speicher, während normalen Wetterbedingungen, oder
- das Versagen der Stauanlage während einer großen Überflutung, welche die Sperre überströmt.

#### **SCHRITT 2: DEFINITION DER ZEITKATEGORIEN FÜR WELCHE DIE EINSCHÄTZUNGEN DER OPFER GESUCHT IST**

Die Anzahl der Personen in der Gefahrenzone ist stark von der Jahreszeit, dem Wochentag sowie der Tageszeit abhängig. So können zum Beispiel Campingplätze während des Sommers stark belegt sein und im Winter leer, oder die Region ist überwiegend als Wohnungsgebiet gekennzeichnet und Leute arbeiten außerhalb. Daraus ergeben sich starke Unterschiede zwischen Tag und Nacht, sowie zwischen Wochenende und Werktag. Weiters kann die Studie auch die Entwicklung in der Bevölkerungsdichte berücksichtigen.

Neben der Anzahl der Personen beeinflusst auch die Tageszeit den Zeitpunkt der Warnung. Es kann davon ausgegangen werden, dass Warnungen in der Nacht prinzipiell später erfolgen als am Tag. Dazu kommt die spätere Wahrnehmung der Warnung während der Nacht.

Jede Studie sollte deshalb zumindest eine Kategorie für den Tag und eine für die Nacht, sowie unterschiedliche Jahreszeiten für jedes Versagensszenario enthalten.<sup>127</sup>

---

<sup>127</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.13

**SCHRITT 3: DEFINITION WANN ES ZU WARNUNGEN DER BEVÖLKERUNG KOMMT**

Dieser Schritt ist wohl der Wichtigste, wenn es darum geht die Anzahl der Opfer abzuschätzen. Tabelle 3.2.7 soll dabei Anhaltspunkte geben, wie dieser Zeitpunkt der Warnung eingeschätzt werden kann.

**Tabelle 3.2.7: Richtlinie, um abzuschätzen wann Warnungen ausgesprochen werden (Graham Table 2)<sup>128</sup>**

Dammart	Versagens- ursache	Besondere Merkmale	Zeitpunkt des Versagens	Wann kommt es zu Warnung?		
				Viele Beobachter bei der Anlage <sup>1)</sup>	Keine Beobachter bei der Anlage <sup>2)</sup>	
Erddamm	Überströmen	Wassereinzugsgebiet der Stauanlage < 260 km <sup>2</sup>	Tag	0,25 Stunden vor Dammbbruch	0,25 Stunden nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
			Nacht	0,25 Stunden nach Dammbbruch	1,00 Stunden nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
		Wassereinzugsgebiet der Stauanlage > 260 km <sup>2</sup>	Tag	2,00 Stunden vor Dammbbruch	1,00 Stunden vor Dammbbruch	
			Nacht	1,00 bis 2,00 Stunden vor Dammbbruch	0,00 bis 1,00 Stunden vor Dammbbruch	
	Piping (voller Speicher, normales Wetter		Tag	1,00 Stunden vor Dammbbruch	0,25 Stunden nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
			Nacht	0,50 Stunden vor Dammbbruch	1,00 Stunden nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
	Erdbeben	Sofortiges Versagen	Tag	0,25 Stunden nach Dammbbruch	0,25 Stunden nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
			Nacht	0,50 Stunden nach Dammbbruch	1,00 Stunden nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
		Verzögertes Versagen	Tag	2,00 Stunden vor Dammbbruch	0,50 Stunden bevor die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
			Nacht	2,00 Stunden vor Dammbbruch	0,50 Stunden bevor die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	
	1)	„Viele Beobachter bei der Anlage“ heißt, dass der Talsperrenverantwortliche auf einer Anhöhe mit freier Sicht zum Damm wohnt oder die Anlage von der Bevölkerung selbst direkt gesehen werden kann oder die Sperrkronen als starkgenutzte Straße genutzt wird. Diese Anlagen sind typischer Weise in städtischen Gebieten.				
	2)	„Keine Beobachter bei der Anlage“ heißt, dass kein Talsperrenverantwortlicher bei der Anlage ist, die Sperre kann von so gut wie keinem Haus der Bevölkerung gesehen werden und die Sperrkronen werden nicht als Straße genutzt. Diese Anlagen sind typischer Weise in entlegenen Gebieten.				

<sup>128</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.15

Für die Erstellung von Tabelle 3.2.7 wurden sowohl Daten von amerikanischen Sperrbrüchen seit 1960 herangezogen, als auch Ereignisse aus Europa (Vajont Staumauer in Italien – Kapitel 2.4, Malpasset Damm in Frankreich). Eine Analyse dieser Daten zeigt, dass zeitige Warnungen wahrscheinlicher sind, wenn es Tag ist, ein Talsperrenverantwortlicher oder andere Personen bei der Anlage sind, das Wassereinzugsgebiet groß ist oder der Speicher noch genügend Reserven für Hochwasser aufweist. Im Gegensatz dazu kommen Warnungen später, wenn in der Nacht, keine Beobachtung durch einen Talsperrenverantwortlichen oder andere Personen stattfindet, bei kleineren Wassereinzugsgebieten und wenn der Speicher nicht genügend Reserven aufweist (schnelles Füllen des Speichers und Überströmen der Stauanlage). Des Weiteren fand Graham heraus, dass, obwohl die empirischen Daten limitiert waren, bei Betonsperren Warnungen prinzipiell später erfolgen. Bei Schüttdämmen werden Warnungen größtenteils noch vor dem Versagen des Damms herausgegeben.<sup>129</sup>

Der Unterschied des Zeitpunkts von Warnungen zwischen Betonsperren und Schüttdämmen folgt daraus, dass Fehlermechanismen bei Schüttdämmen früher erkennbar sind, etwa in Form von leichten Wasseraustritten (Piping, innere Erosion). Wohingegen Betonsperren zwar Risse aufweisen können, allerdings nicht zwangsläufig deswegen versagen. Da Graham keine ausreichenden Daten von Versagen von Betonsperren vorlagen, gibt Tabelle 3.2.7 nur Werte für Dämme an, mit denen der Zeitpunkt der Warnung abgeschätzt werden kann. Abschätzungen der Vorwarnzeiten von Betonsperren sollen für den Einzelfall entwickelt werden.

Um die Vorwarnzeit richtig einschätzen zu können, sollten alle risikoreduzierenden Einflüsse und Pläne, wie das Vorhandensein von Notfallplänen oder die Überwachungsmaßnahmen der Stauanlage berücksichtigt werden.

---

<sup>129</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.14

#### **SCHRITT 4: DEFINITION DES ÜBERSCHWEMMUNGSGEBIETS FÜR JEDES VERSAGENSSZENARIO**

Um die Anzahl der Personen im Gefahrengebiet abschätzen zu können, muss eine Karte oder zumindest eine Beschreibung des überschwemmten Gebiets für jede Versagensart zur Verfügung stehen. Dabei muss beachtet werden, dass bereits die Ausweisung der potentiellen Überschwemmungsgebiete Unsicherheiten mit sich führt. Eine Flutwellenanalyse zufolge eines Sperrenversagens benötigt einige Einschätzungen:

- **Abhängigkeit der Abflussganglinie vom Sperrentyp.**

Bereits hier ergeben sich große Unterschiede zwischen Betonsperren und Schüttdämmen. So werden bei einem plötzlichen Versagen einer Betonsperre schlagartig große Mengen an Wasser freigesetzt, wohingegen ein Dammversagen zufolge Überströmen durch einen progressiven Bruchvorgang gekennzeichnet ist.

- **Abhängigkeit der Abflussganglinie vom gewählten Ansatz der Breschenentwicklung.**

Werte für den Spitzenabfluss hängen und die Wellenform hängen sehr stark vom gewählten Ansatz ab (siehe Fallbeispiele Kapitel 4.2 und 4.3).

- **Hydraulische Parameter des Gebiets stromabwärts.**

Beeinflusst Fließgeschwindigkeit und damit die erreichten Wasserstände. Dadurch kann das Überschwemmungsgebiet größer oder kleiner ausfallen.

Änderungen dieser drei Parameter verändern maßgeblich die drei in Kapitel 3.2.3.1 genannten wichtigsten Faktoren:

- Anzahl der Personen in Gefahr (*PAR*).
- Die Vorwarnzeit die diesen Personen zur Verfügung steht (*WT*).
- Die Schwere der Flut

Aus diesem Grund beeinflussen Unsicherheiten dieser Parameter das Ergebnis der Einschätzung von potentiellen Opfern.<sup>130</sup>

#### **SCHRITT 5: EINSCHÄTZUNG DER PERSONEN IN DER GEFAHRENZONE (PAR) FÜR ALLE**

##### **VERSAGENSSZENARIEN UND ZEITKATEGORIEN**

Für jede Versagensart und Zeitkategorie muss die Anzahl der gefährdeten Personen festgestellt werden. Die gefährdeten Personen (*PAR*) sind definiert durch die Anzahl an Personen, die sich im Überschwemmungsgebiet befinden bevor eine Warnung ausgesprochen wurde. Dies kann bewerkstelligt werden, indem man eine Momentaufnahme des Überschwemmungsgebiets macht und die im Gebiet befindlichen Personen erfasst. Dabei sollte auch berücksichtigt werden, dass sich die Anzahl der Personen im Laufe des Tages immer wieder ändert.<sup>130</sup>

<sup>130</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.16

**SCHRITT 6: ANWENDUNG VON EMPIRISCHEN FORMELN UM DIE ANZAHL DER OPFER ZU****BERECHNEN**

Die in den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 beschriebenen Methoden zur Abschätzung der Opferzahlen, berücksichtigen laut Graham die Schwere der Flut nicht oder nicht ausreichend. Aus diesem Grund entwickelte Graham eine neuere Methode, welche diesen Parameter genauer beschreiben soll. Weshalb dieser Schritt notwendig ist, soll im kommenden Kapitel (Schwächen der bisherigen empirischen Gleichungen) kurz erörtert werden.

**SCHWÄCHEN DER BISHERIGEN EMPIRISCHEN GLEICHUNGEN**

Die neuerliche Überarbeitung der Methode ist im Wesentlichen auf unzureichende Daten bei der Ermittlung des zu erwartenden Loss of Life (*LOL*) zurückzuführen. Die Gleichungen weisen dabei folgende zwei essentielle Schwächen auf:<sup>131</sup>

**1. Die Daten beinhalten nur eine sehr begrenzte Anzahl an Versagensereignissen.**

Deshalb sollten die ermittelten Gleichungen auch nicht für Fälle eingesetzt werden, die von den Daten nicht widerspiegelt werden.

- Sperrengröße: Der Großteil der verwendeten Daten bezieht sich auf kleinere Stauanlagen. Nur sieben der verwendeten Dämme sind über 15 m hoch.
- Sperrenart: Die Daten beziehen sich zum Großteil auf Schüttdämme.
- Versagensursachen: Es sind keine Stauanlagen enthalten, die durch ein Erdbeben versagten.
- Schwere der Flut: In den Daten wurde eine binäre Einteilung der Schwere der Flut vorgenommen. Folglich können auch keine Aussagen zu verschiedenen „Schweregraden“ gemacht werden.
- Szenarios von Vorwarnzeiten: Besonders bei sehr frühen Warnungen werden die potentiellen Opferzahlen unterschätzt. Die Opferzahlen sollten sich hier auf die Personen, die nicht Evakuieren beziehen, um realistische Ergebnisse zu erhalten.

**2. Die verwendeten Daten enthalten hauptsächlich Ereignisse mit starken Überschwemmungen, mit oder ohne Vorwarnung.**

Besonders dieser Punkt beeinflusst das Ergebnis der ermittelten Formeln. Aus diesem Grund zeigt Gleichung 3-24 für hohe Opferzahlen keine zufriedenstellenden Ergebnisse bei wirklichen Katastrophen. Dieser Umstand kann in zwei kleinen Beispielen besser erklärt werden:

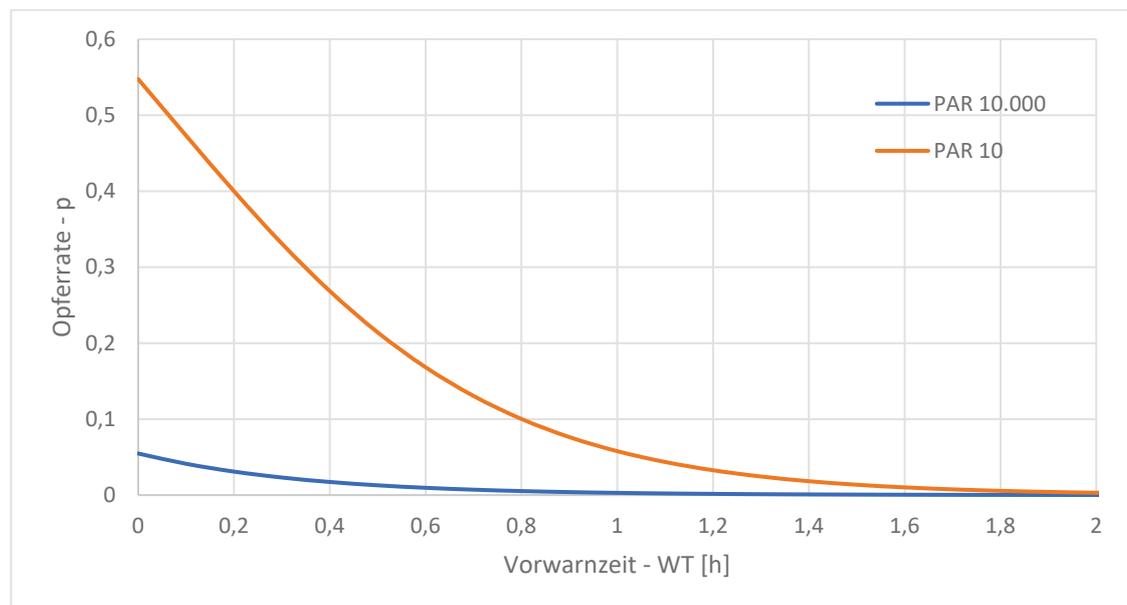
**Beispiel 1**

Die Stauanlage in St. Francis, mit einem Sperrbauwerk aus Beton, versagte um Mitternacht und es gab keine Warnungen. In nur wenigen Minuten wurde das Gebiet direkt unterhalb des Damms von einer 30 m hohen Flutwelle erfasst. Das Gebiet

<sup>131</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.23-25

unmittelbar hinter der Sperre war nur sehr dünn besiedelt, wäre das anders gewesen wären weit mehr als 420 Menschen ums Leben gekommen.

Angenommen in dem betreffenden Gebiet, direkt im Unterliegerbereich der Anlage, hätten 10.000 Menschen gelebt. Gleichung 3-24 von DeKay und McClelland für hohe Opferzahlen (High Force) schätzt die Opferzahl in diesem Fall mit etwa 550 Opfern ein, was einer Opferrate von 5,5 % entspricht. In Realität war eine Opferrate von 13 % zu verzeichnen und in den Gebieten direkt stromabwärts der Anlage zwischen 80 und 100 %. Des Weiteren streut die Opferrate in der Berechnung sehr stark, abhängig von der Bevölkerungszahl im Gefahrengebiet (siehe Diagramm 3.9).



**Diagramm 3.9: Vergleich Opferraten, bei der Berechnung nach DeKay und McClelland für High Force, für unterschiedlich große PAR**

In Diagramm 3.9 ist zu erkennen, dass bei 10.000 Personen im Gefahrengebiet die errechnete Opferrate nur bei 5,5 % liegt, wohingegen die Opferrate bei 10 Personen auf 55 % ansteigt.<sup>132</sup>

### Beispiel 2:

Ein ähnliches Problem liegt auch vor, wenn von Fällen ausgegangen wird bei denen eine Warnung einige Stunden bevor die Flutwelle eintrifft ausgesprochen wird. Wird in solchen Fällen die Berechnung von Brown und Graham für Vorwarnzeiten über 90 Minuten verwendet. Das heißt, dass für alle 5.000 Personen im Gefahrengebiet 1 Person stirbt ( $p = 2 \cdot 10^{-4}$ ). Für große Katastrophen werden dadurch die Opferzahlen stark unterschätzt. Die Opferzahl sollte dabei direkt abhängig von der Anzahl jener Personen sein, welche die Warnung ignorieren oder nicht erhalten. In diesem Fall sollte die Opferrate wieder im Bereich von 80 bis 100 %, für die Personen welche keine

<sup>132</sup> GRAHAM J. Wayne: A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, 1999, S.23

Warnung erhalten haben oder sie ignorierten, sein. Es ist allerdings sehr schwer abzuschätzen wie viele Menschen trotz Warnung im Gebiet bleiben.<sup>133</sup>

In der ersten Annahme (Brown und Graham 1989) wurde angenommen, dass mit steigender Bevölkerung im betroffenen Gebiet auch die Warnung und die Kommunikation besser funktionieren würden und daher für größere Bevölkerungen geringere Opferzahlen die Folge sind. Bei genauerer Betrachtung der Daten ist jedoch zu erkennen, dass bei mehr Personen im Gefahrengebiet auch das Gefahrengebiet selbst größer ist und dadurch Gebiete, in denen die Flutwelle weniger stark ist, miteinbezogen werden. Es scheint, als gebe es ein inverses Verhältnis zwischen der Bevölkerung im Gefahrengebiet und der Schwere der Flut. Das heißt, dass mit steigender Bevölkerung im Gefahrengebiet die Schwere der Flut abnimmt. Anders gesagt, große Bevölkerungen liegen nicht in engen Tälern, sondern in flachen, weiten Gebieten in denen die Schwere der Flut geringer ist.<sup>134, 135</sup>

Einige Fragestellungen werden also durch diese empirischen Formeln, von Brown und Graham sowie DeKay und McClelland, weiterhin nur unzureichend beantwortet. Folgende zusätzliche Fragestellungen werden aufgeworfen:

- Erhält man mit diesen Gleichungen (3-2, 3-3, 3-4, 3-24, 3-25) ausreichend genaue Ergebnisse, wenn eine sehr große Zahl an Personen von wirklich katastrophalen Überschwemmungen betroffen sind?
- Ist es realistisch, dass so große Unterschiede der Opferrate zwischen unterschiedlich großen Bevölkerungen existieren?
- Resultiert frühe Vorwarnung tatsächlich in geringeren Opferraten oder werden frühe Vorwarnungen hauptsächlich bei leichten Überschwemmungen ausgesprochen, die ohnehin einen geringeren Schaden verursachten?

#### **BERECHNUNG VON LOSS OF LIFE MIT DER SCHWERE DER FLUT**

Diese Methode bietet vorgeschlagene Opferraten basierend auf der Schwere der Flut, der Vorwarnzeit und ob die Bevölkerung die Schwere der Flut versteht oder nicht. Zur Herleitung dieser Methode werden die Daten, welche auch DeKay und McClelland, verwendeten erweitert. In Summe werden dabei etwa 40 Flutereignisse herangezogen, wobei alle Sperrenbrüche der Vereinigten Staaten herangezogen werden, die mehr als 50 Opfer forderten. Zusätzlich wurden noch weitere Überflutungsszenarien berücksichtigt, um ein möglichst breites Spektrum von der Schwere der Flutwellen, sowie Kombinationen von Vorwarnzeiten und der Schwere der Flut abzudecken.

<sup>133</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.23-24

<sup>134</sup> DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood; *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K, S.194 - 195

<sup>135</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.24

Nach Grahams Auffassung ist die Schwere der Flut in Zusammenhang mit der Vorwarnzeit der größte Einflussfaktor für die Opferrate. Die Schwere der Flut wird dabei in drei Kategorien eingeteilt:<sup>136</sup>

- **Leichte Schwere von Flutwellen (Low Severity of Floods)**  
Flutwellen bei denen Häuser überschwemmt, aber nicht zerstört werden. Solche Ereignisse resultieren oft in Opferraten von 0 % bis 1 %. Diese Kategorie entspricht in etwa der Kategorie für „Low Force“ von DeKay und McClelland.
- **Mittlere Schwere von Flutwellen (Medium Severity of Floods)**  
In dieser Kategorie werden Gebäude zerstört. Einige Gebäude und Bäume bleiben allerdings intakt und dienen als temporäre Zufluchtsorte während der Überschwemmung. Ohne Vorwarnung haben diese Ereignisse zu Opferraten von einigen Prozent bis etwa 25 % geführt. Vergleichbar ist diese Kategorie wiederum mit der „High Force“ Kategorie von DeKay und McClelland.
- **Starke Schwere von Flutwellen (High Severity of Floods)**  
Bei dieser Kategorie handelt es sich um eine neu eingeführte Kategorie von Graham. Sie soll Flutwellen die sehr plötzlich auftreten und in einer großen Katastrophe resultieren widerspiegeln. Gebäude werden dabei komplett zerstört. Beispiele für diese Art von Flutwellen sind die Versagensereignisse von Vajont und Stava in Italien und von St. Francis in den Vereinigten Staaten. Es scheint, dass vor allem Betonsperren solche Flutwellen verursachen können, da das Versagen solcher Anlagen schlagartig von statten geht und weniger Anzeichen eines Versagens aufweisen. Diese Art von Flutwellen weisen ohne Vorwarnung eine Opferrate von 50 bis 100 % für Gebiete direkt stromabwärts der Anlage auf.

Auch die Vorwarnzeit wurde von Graham in drei Kategorien eingeteilt:<sup>136</sup>

- **Keine Warnung (No Warning)**  
Es gibt keine Warnung von offizieller Seite oder von Medien, bevor die Flutwelle im betroffenen Gebiet ankommt. Die einzige Vorwarnung ist das Sehen oder Hören der ankommenden Flutwelle von einzelnen Individuen.
- **Wenig Warnung (Some Warning)**  
Warnungen von offizieller Seite und von Medien werden 15 bis 60 Minuten vor dem Eintreffen der Flutwelle im betroffenen Gebiet herausgegeben. Einige Personen werden indirekt Familie, Freunde oder Nachbarn gewarnt.
- **Ausreichende Warnung (Adequate Warning)**  
Warnungen werden von offizieller Seite und von Medien mehr als 60 Minuten vor Eintreffen der Flutwelle im betroffenen Gebiet herausgegeben. Einige Personen werden indirekt durch Familie, Freunde oder Nachbarn alarmiert.

Ein zusätzlicher Faktor den Graham eingeführt hat, um das Evakuationsverhalten besser in die Berechnung miteinzubeziehen, ist das Verständnis der Bevölkerung über die Schwere der Flut bzw. das Verständnis über die Möglichkeit einer Flut. Er beschreibt dieses Verständnis

---

<sup>136</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.26

dabei als eine Funktion der Distanz zum Sperrenstandort oder der Zeit bis zum Eintreffen der Flutwelle im betroffenen Gebiet. Diese Beziehung ist so zu verstehen, dass je weiter eine Person vom Sperrenstandort entfernt ist, desto eher versteht sie die Auswirkungen der herannahenden Flutwelle. Dieser Umstand kommt daher, dass die Wahrscheinlichkeit einer ausreichend genauen Warnung mit der Distanz ansteigt. In diesen Fällen haben Personen eventuell schon das Ausmaß der Flutwelle aus Gebieten weiter stromaufwärts gesehen und haben deshalb bereits ein Verständnis über die Gefahr. Im Gegensatz dazu ist es schwieriger, Personen in der Nähe der Sperre von einer möglichen Gefahr zu überzeugen. Da die Sperre noch nicht versagt hat, ist es auch schwieriger das Gefahrenpotential einzuschätzen. Personen könne sich kein ausreichend genaues Bild der Gefahr machen und evakuieren deshalb nicht oder nicht schnell genug (siehe auch Kapitel 2.13.3.1). Dieser Faktor spielt nur bei wenig oder ausreichender Warnung eine Rolle und wird wie folgt eingeteilt:<sup>137</sup>

- **Vages Verständnis der Schwere der Flut (Vague Understanding of Flood Severity)**  
Die Sperre hat noch nicht versagt und das Ausmaß der möglichen Flutwelle ist noch unklar. Daher werden unklare Warnungen herausgegeben.
- **Genaueres Verständnis der Schwere der Flut (Precise Understanding of Flood Severity)**  
Die Sperre hat bereits versagt und das Ausmaß der Flutwelle ist ersichtlich. Es werden daher auch genauere Warnungen herausgegeben.

In Grahams Berechnungen gibt es nun also 3 Kategorien der Schwere der Flut, 3 Kategorien der Vorwarnzeit und 2 Kategorien des Verständnisses der Flut (wobei diese nur für geringe und ausreichende Warnung von Bedeutung ist). Daraus resultieren also 15 unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten (siehe Abb. 3.1). Tabelle 3.2.8 zeigt eine Zusammenfassung der Daten für die 15 verschiedenen Kombinationen.

---

<sup>137</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.26

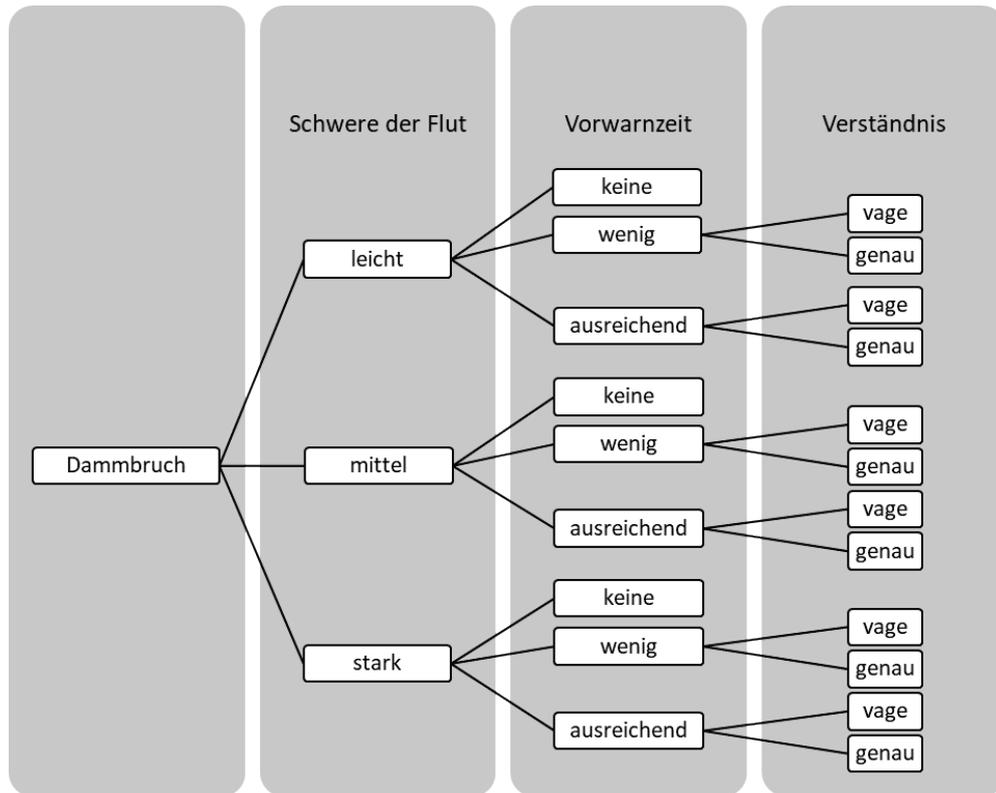


Abb. 3.1: 15 Kombinationsmöglichkeiten der Graham Methode

Tabelle 3.2.8: Opferraten aus Fallstudien (Table 6 Graham)<sup>138</sup>

Flood Severity	Warning Time	Flood Severity Understanding	Fatality Rate	
			Average	Range
High	no warning	n/a	0,76	0,3 to 1,00
	15 to 60	vague	No case fit this category.	
		precise	No case fit this category.	
	more than 60	vague	No case fit this category.	
		precise	No case fit this category.	
	Medium	no warning	n/a	0,14
15 to 60		vague	0,014	only one case
		precise	0,01	only one case
more than 60		vague	0,05	only one case
		precise	0,035	0,0 to 0,080
Low		no warning	n/a	0,007
	15 to 60	vague	0,0095	0,007 to 0,012
		precise	0,0	only one case
	more than 60	vague	No case fit this category.	
		precise	0,0003	0,0 to 0,002

Aus den Daten von Tabelle 3.2.8 leitete Graham Opferraten für die unterschiedlichen Kombinationen ab, wobei die Werte etwas verändert wurden, um ein einheitliches Muster zu erhalten. Diese Änderungen beruhen allerdings nicht auf statistischen Analysen, sondern auf

<sup>138</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.34

einer Abschätzung bzw. Beurteilung der Opferraten. Aus diesem Grund weichen die Bereiche der Opferraten etwas von der Datengrundlage ab (siehe Tabelle 3.2.9).

**Tabelle 3.2.9: Von Graham empfohlene Opferraten (Table 7 Graham)<sup>139</sup>**

Flood Severity	Warning Time	Flood Severity Understanding	Fatality Rate			
			Average	Range		
High	no warning	n/a	0,75	0,30 to 1,00		
	15 to 60	vague	Use the values shown above and apply to the number of people who remain in the dam failure floodplain after warnings are issued. No guidance is provided on how many people will remain in the floodplain.			
		precise				
	more than 60	vague				
		precise				
	Medium	no warning			n/a	0,15
15 to 60		vague			0,04	0,01 to 0,08
		precise	0,02	0,005 to 0,04		
more than 60		vague	0,03	0,005 to 0,06		
		precise	0,01	0,002 to 0,02		
Low		no warning	n/a	0,01	0,0 to 0,02	
	15 to 60	vague	0,007	0,0 to 0,015		
		precise	0,002	0,0 to 0,004		
	more than 60	vague	0,0003	0,0 to 0,0006		
		precise	0,0002	0,0 to 0,0004		

### Abschätzen der Parameter

#### Schwere der Flut (Flood Severity)

Um abzuschätzen welche Kategorie der Schwere der Flut vorliegt, empfiehlt Graham eine Beobachtung der möglichen Zerstörung durch die Flutwelle. Zwischen leichter und mittlerer Schwere empfiehlt er eine Tiefe der Flutwelle von etwa 3 m zu wählen. Eine weitere Möglichkeit um zwischen diesen beiden Kategorien zu unterscheiden ist die Verwendung des Parameters  $DV$  (Depth times Velocity):

$$DV = \frac{Q_{df} - Q_{2,33}}{W_{df}} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad 3-26^{140}$$

mit

$Q_{df}$  Durch den Sperrbruch verursachter Durchfluss in einem Gebiet

$Q_{2,33}$  Durchschnittlicher Durchfluss im selben Gebiet im Jahresmittel

$W_{df}$  Maximale Breite des Überschwemmungsgebiets verursacht durch das Analgenversagen

<sup>139</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.38

<sup>140</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.36

Obwohl dieser Parameter nichts über die tatsächliche Geschwindigkeit oder Wassertiefe bei einem Gebäude aussagt, ist er ein sehr guter Indikator für die generelle Situation in diesem Gebiet. Wenn der maximale Durchfluss des Dammbrochs ansteigt, nimmt auch der Wert von  $DV$  ebenso zu, wie bei einem engen Talquerschnitt.

Als Grenze zwischen Leichter und Mittlerer Schwere gibt Graham dabei  $4,6 \text{ m}^2/\text{s}$  an. Werte von  $DV$  unter dieser Grenze können als Leichte Schwere interpretiert werden.<sup>141</sup>

#### Vorwarnzeit (Warning Time)

Graham gibt keine konkreten Hinweise an, wann Warnungen ausgesprochen werden. Um das Modell allerdings richtig einzusetzen, sollte die Fließzeit der Flutwelle und der Zeitpunkt der Warnung berücksichtigt werden. Das heißt, dass für unterschiedliche Distanzen zur Stauanlage unterschiedliche Vorwarnzeiten anzuwenden sind. In einem kleinen Beispiel ist dieser Zusammenhang sehr leicht ersichtlich:

#### **Beispiel:**<sup>142</sup>

Es wird ein Versagensszenario betrachtet, bei dem sich direkt hinter der Sperre ein kleines Dorf befindet und weiter stromabwärts eine Stadt. Die Flutwelle erreicht das Dorf binnen kürzester Zeit, die Stadt jedoch erst nach etwa 4 Stunden. Wird nun eine Warnung 1 Stunde nach dem Dammversagen herausgegeben, ist die Vorwarnzeit für das Dorf gleich 0 und für die Stadt 3 Stunden.

Graham gibt dabei zwei unterschiedliche Varianten für die Einschätzung an, wann eine Warnung ausreichend lang zuvor ausgesprochen wird. Zum einen geht aus den Daten hervor, dass Warnungen, welche 3 Stunden bevor die Flutwelle eintrifft herausgegeben werden als ausreichend eingestuft werden können und die Opferzahlen sehr gering sind.

Eine weitere Möglichkeit ist die Abschätzung nach der Entfernung zum Sperrenstandort. Große Opferraten sind vor allem in den ersten 25 km stromabwärts der Stauanlage zu erwarten. Für kleine Anlagen ist diese Distanz beträchtlich kleiner. Mit zunehmender Entfernung zur Sperre sind folglich geringere Opferraten zu erwarten, da Warnungen bereits besser verbreitet werden und die Stärke der Flutwelle mit der Entfernung abnimmt ( $DV$  wird kleiner mit zunehmender Entfernung). Es wird empfohlen, Studien der Opferraten bis 50 km stromabwärts der Sperre durchzuführen. Bei größeren Entfernungen liegen die Opferraten im Normalfall bei 0 %. Für sehr hohe Stauanlagen kann diese maximale Distanz bis zu 161 km erweitert werden. Liegen Berechnungen über die zu erwartende Flutwelle vor, kann die Distanz anhand des  $DV$ -Werts eingeschätzt werden. Wobei allerdings keine Grenze angegeben wird, ab wann der  $DV$ -Wert so klein ist, dass keine Opfer mehr zu erwarten sind.<sup>142</sup>

<sup>141</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.66

<sup>142</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, S.36

### 3.3 JONKMAN METHODE

Jonkman erarbeitet ebenfalls eine Herangehensweise zur Ermittlung von Opferraten durch Fluten. Dabei stützen sich seine Berechnungen bzw. Analysen in erster Linie auf die Katastrophe von 1953 in den Niederlanden („De Ramp“) und in Großbritannien (siehe Kapitel 2.2). Zusätzlich zu den Daten dieses Ereignisses verwendete Jonkman Daten einer Flut in Japan, verursacht durch Typhoon Isewan im Jahre 1959 für seine Analyse.<sup>143</sup>

Die Herangehensweise von Jonkman entspricht dabei einer sehr wissenschaftlichen und berücksichtigt eine Reihe von Faktoren. Die Faktoren unterscheiden sich dabei teilweise von jenen in der Methode von Graham. Zum bessere Verständnis wird in diesem Kapitel zunächst die allgemeine Herangehensweise der Methode von Jonkman, sowie vorhergehende Studien aus den Niederlanden beschrieben und anschließend die Anwendung des Verfahrens.

#### 3.3.1 ALLGEMEINE HERANGEHENSWEISE

Jonkman widmet sich in seiner Herangehensweise, einer quantitativen Risikoanalyse (QRA), welche unabhängig von der Ereignisursache ist. Das Auftreten eines kritischen Ereignisses führt dabei zur Freisetzung von physikalischen Effekten (Rauch, Feuer, Flutwelle, etc.). Diese physikalischen Effekte können über ein gewisses Gebiet verteilt werden.

Aus diesem Grund wird eine allgemeine Einteilung eines Gebiets vorgenommen (siehe auch Abb. 3.2):<sup>144</sup>

- **Betroffenes Gebiet/Gefahrenzone (Exposed Area)**  
Jenes Gebiet, welches tatsächlich von dem physikalischen Effekt betroffen ist (Bei Flugzeugabstürzen auch als Crash Area bezeichnet), und
- **Gefährdetes Gebiet (Threatened Area)**  
Jenes Gebiet, welches potentiell betroffen sein könnte.

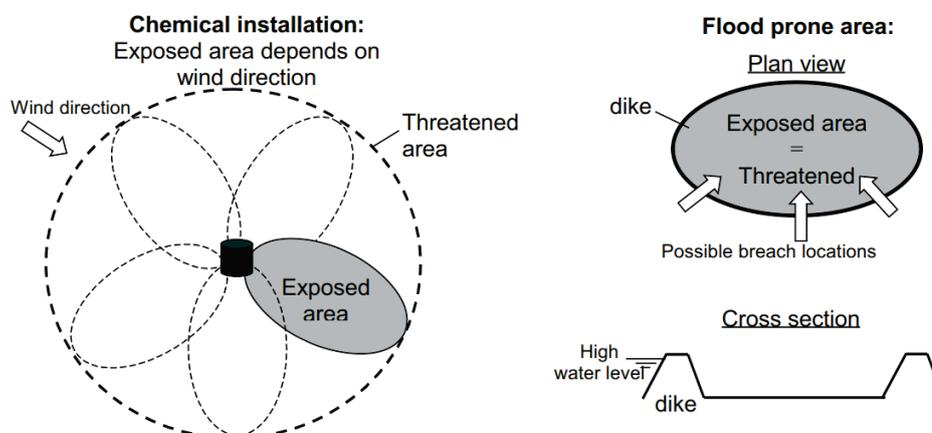


Abb. 3.2: Unterschied zwischen betroffenem und gefährdetem Gebiet<sup>145</sup>

<sup>143</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft

<sup>144</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.35

<sup>145</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.36

Alle Personen, die sich im betroffenen Gebiet aufhalten, noch bevor Warnungen ausgesprochen werden, zählen zur Bevölkerung in Gefahr (*PAR*). Für sehr große Gebiete kann diese Zahl in etwa der Anzahl der tatsächlichen Bevölkerung in diesem Gebiet (*POP*) entsprechen, also  $PAR \approx POP$ . In manchen Fällen sollten allerdings Abweichungen von dieser Zahl berücksichtigt werden, welche sich durch Tourismus oder Tageszeit dynamisch verändern kann.

Die tatsächlich betroffene Bevölkerung (*EXP*) ergibt sich nach Berücksichtigung von Evakuierung, Personen in sicheren Zonen (*Shelter*), Rettung und Flucht (siehe Abb. 3.3).

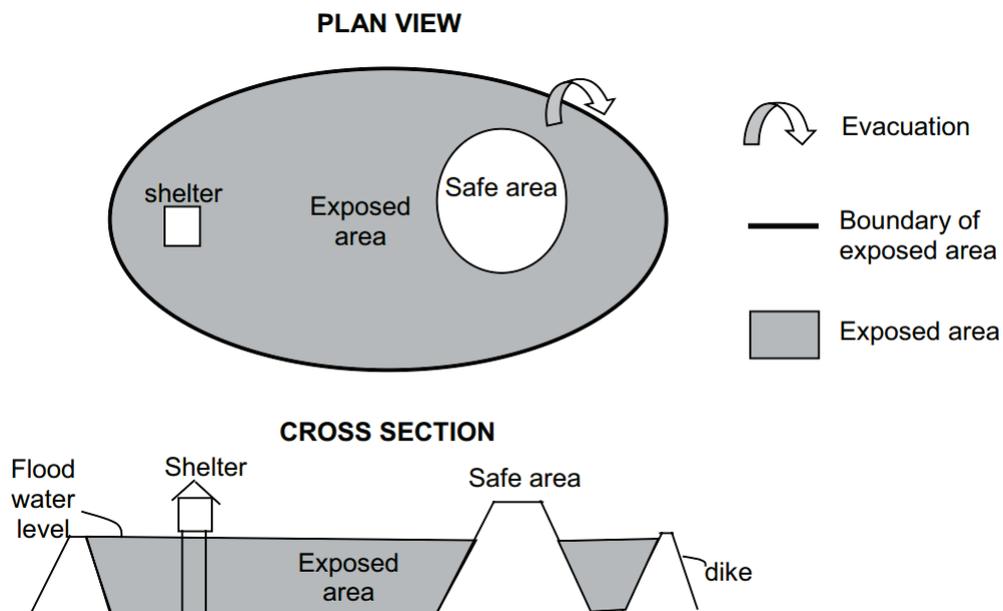


Abb. 3.3: schematische Darstellung des betroffenen Gebiets bei Überschwemmungen<sup>146</sup>

Es haben sich also im Allgemeinen drei grundlegende Elemente für die Ermittlung von Todesopfern etabliert:<sup>147</sup>

- **Physikalische Effekte**  
hervorgerufen durch ein kritisches Ereignis unter Berücksichtigung der Verteilung und der Größe des betroffenen Gebiets.
- **Die Anzahl der betroffenen Personen**  
unter Berücksichtigung von Evakuierung, sicheren Zonen (*Shelter*), Flucht und Rettung.
- **Abschätzung der Opferrate**  
unter Berücksichtigung der ersten beiden Elemente.

<sup>146</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.37

<sup>147</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.40

Diese drei Elemente bilden nun die Grundpfeiler für eine Abschätzung der Opferzahlen bei Flutwellen. Als Funktion ausgedrückt lässt sich die Opferzahl wie folgt darstellen:

$$LOL(c) = F_D(c) \cdot EXP(c) \quad 3-27^{148}$$

mit

- $LOL$  Opferzahl
- $c$  physikalische Effekte (Vektor mit Intensität, Ankunftszeit, Konzentration, örtliche Erstreckung, etc.).
- $F_D$  Dosis-Wirkungs-Funktion, welche die Sterblichkeit ausdrückt.
- $EXP$  betroffenen Bevölkerung (Exposed Population).

$LOL$  und  $EXP$  sind dabei Funktionen, welche von der Ausbreitung und Intensität des physikalischen Effekts  $c$  abhängen. Die Anzahl der betroffenen Personen ( $EXP$ ) kann dabei wie folgt angegeben werden:

$$EXP(c) = [1 - F_E(c)] \cdot [1 - F_S(c)] \cdot PAR(c) \quad 3-28^{148}$$

mit

- $F_E$  Anteil der Bevölkerung, der evakuiert werden kann.
- $F_S$  Anteil der Bevölkerung, der einen sicheren Ort im Gefahrengebiet finden (z.B. Hochhaus).
- $PAR$  Bevölkerung im Gefahrengebiet.

Die Parameter  $F_D$ ,  $F_E$  und  $F_S$  können als typische Verteilungsfunktionen formuliert werden, mit Werten von  $0 \leq F \leq 1$ .

Aus Gleichung 3-27 und 3-28 ergibt sich die Anzahl der Todesopfer ( $LOL$ ) zu:

$$LOL(c) = F_D(c) \cdot EXP(c) = F_D(c) \cdot [1 - F_E(c)] \cdot [1 - F_S(c)] \cdot PAR(c) \quad 3-29^{148}$$

Aus dieser Formulierung lässt sich somit die grundlegende Struktur der Loss of Life Estimations nach Jonkman ablesen.

---

<sup>148</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.40

### 3.3.1.1 BESTIMMUNG DER DOSIS-WIRKUNGS-FUNKTION $F_D$

Die Dosis-Wirkungs-Funktion soll die Sterblichkeit der betroffenen Personen aufgrund der Intensität der physikalischen Effekte widerspiegeln. Eine andere Bezeichnung für diese Dosis-Wirkungs-Funktion ist in diesem Zusammenhang eine die Sterblichkeits-Funktion. Eine generelle Formulierung dieser Funktion kann durch eine einfache Einwirkungs-Widerstands-Beziehung aufgestellt werden (siehe Gleichung 3-30).

$$F_D(c) = P(c_R < c) \quad 3-30^{149}$$

Wobei  $c_R$  der Widerstand eines Menschen gegen einen physikalischen Effekt  $c$  ist.  $F_D(c)$  kann dabei, wie bereits zuvor erwähnt, nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Für gewöhnlich wird die Intensität des physikalischen Effekts  $c$  dabei auf eine Variable reduziert. Im Falle von Flutwellen etwa auf die Tiefe  $h$ . Für manche Fälle kann das Hinzufügen von mehreren Variablen probater sein. So z.B. zuzüglich zur Tiefe  $h$  auch die Strömungsgeschwindigkeit  $v$ .

In der Sterblichkeits-Funktion werden üblicherweise zwei Variablen genutzt, um die Intensität der Effekte zu beschreiben:<sup>149</sup>

- **Sofortige Intensität**  
Von Bedeutung, um Situationen zu beschreiben, in denen die Überschreitung eines Grenzwerts ausreicht, um zum Tod zu führen.
- **Die Dosis**  
Entscheidend, wenn die Dauer, welche man einem physikalischen Effekt ausgesetzt ist, von Bedeutung ist. Diese Herangehensweise wird oft in Zusammenhang mit Giftstoffen angewendet.

Die Sterblichkeit hängt dabei nicht nur von der Dosis ab, sondern auch vom Zustand der Person selbst. Auch der Aufenthaltsort der Person spielt dabei eine maßgebliche Rolle (im Freien, im Auto, im Haus, ...).

Im Zusammenhang mit der Sterblichkeit von Menschen bei Flutwellen kann eine Sterblichkeitsfunktion aufgestellt werden, bei der Menschen beginnen in fließenden Gewässern instabil zu werden.

Die Sterblichkeits-Funktion kann dabei wie folgt angesetzt werden:<sup>150</sup>

- **Ansatz als Konstante**  
Die einfachste Variante ist die Darstellung als Konstante, bei der unabhängig von der Intensität der physikalischen Effekte immer die gleiche Sterblichkeit angenommen wird. Ein Beispiel hierfür kann etwa ein Flugzeugabsturz sein.

<sup>149</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.57

<sup>150</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.59 - 63

• **Ansatz als Stufenfunktion**

In dieser Darstellung hat die Intensität eines physikalischen Effekts  $c$  keinen Einfluss, bis ein Grenzwert  $c_{cr}$  überschritten wird. Nach der Überschreitung dieses Grenzwerts ist die Sterblichkeitsrate konstant (siehe Abb. 3.4).

$$F_D = 0 \quad \text{für } c < c_{cr} \quad \text{3-31}^{151}$$

$$F_D = q \quad \text{für } c \geq c_{cr} \quad \text{und} \quad 0 \leq q \leq 1 \quad \text{3-32}^{151}$$

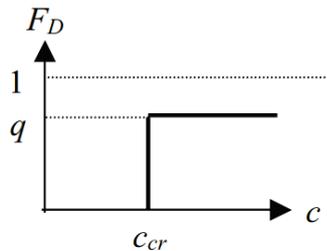


Abb. 3.4: Darstellung Stufenfunktion<sup>152</sup>

Diese Stufenfunktion kann auch mehrere Stufen besitzen und einfach als Tabelle dargestellt werden. Ein Beispiel für diese Variante ist etwa die von Graham entwickelte Methode zur Einschätzung der Opferzahlen.

• **Ansatz als linearer Zusammenhang**

In diesem Fall wird eine Veränderung der Dosis auch als Veränderung der Wirkung interpretiert.

$$\frac{\Delta F_D}{\Delta c} = konst. \quad \text{3-33}^{153}$$

• **Ansatz als exponentieller Zusammenhang**

In diesem Fall wird eine Veränderung der Dosis als exponentielle Veränderung der Wirkung betrachtet. Dieser Zusammenhang trifft im speziellen auf die Dosis Wassertiefe und die Wirkung Tod zu. Ein Nachteil dieses Ansatzes ist, dass sich bei keiner Dosis, trotzdem eine Wirkung ergibt.

$$F_D(c) = e^{\frac{c-A}{B}} \quad \text{für } 0 \leq c \leq A \quad \text{3-34}^{153}$$

$$F_D(c) = 1 \quad \text{für } c > A \quad \text{3-35}^{153}$$

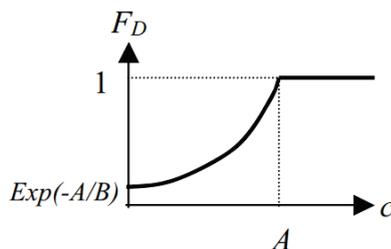


Abb. 3.5: Darstellung Exponentialfunktion<sup>153</sup>

<sup>151</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.60

<sup>152</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.60

<sup>153</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.61

- **Ansatz als Probit-Funktion**

Auch lognormal-Dosis-Wirkungs-Funktion. Diese Funktion ist die am häufigsten verwendete für die Darstellung von Sterblichkeits-Funktionen. Mit diesem Ansatz kann der logarithmische Wert der Dosis und die Wirkung als kumulative Normalverteilung dargestellt werden.

$$Pr = a + b \cdot \ln(c^n \cdot t) \quad 3-36^{154}$$

mit

$a, b, n$  Konstante der Probit-Funktion, um die Form und Position der Verteilungsfunktion zu beeinflussen.

$c$  Konzentration oder Intensität der physikalischen Effekte

$t$  Dauer der Einwirkung

$$F_D(Pr) = \Phi_N\left(\frac{Pr - \mu_D}{\sigma_D}\right) \quad 3-37^{154}$$

mit

$\Phi_N$  Kumulative Normalverteilung

$Pr$  Wert der Probit-Funktion

$\mu_D$  Erwartungswert

$\sigma_D$  Standardabweichung

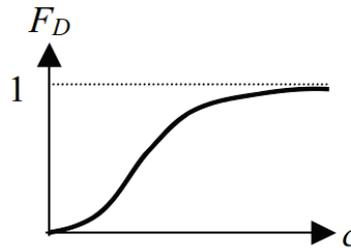


Abb. 3.6: Darstellung Probit- oder Lognormal-Funktion<sup>155</sup>

<sup>154</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.62

<sup>155</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.61

### 3.3.2 ANDERE IN DEN NIEDERLANDEN ENTWICKELTE METHODEN

In den letzten Jahrzehnten wurden in den Niederlanden einige Methoden zur Abschätzung von Opfern bei Meeres- und Flussüberschwemmungen entwickelt. Die meisten dieser Methoden basieren auf den Daten der Sturmflut von 1953 in den Niederlanden.

#### 3.3.2.1 WAARTS (1992)<sup>156</sup>

1989 wurde von Duiser ein Model, dass die Opferrate von der Überschwemmungstiefe abhängig machte. Waarts erweiterte dieses Model 1992 und entwickelte zwei Funktionen in denen die Opferrate eine Funktion der Wassertiefe ist:

$$\left. \begin{aligned} F_D(h)_1 &= 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 \cdot h} \\ F_D(h)_2 &= 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,27 \cdot h} \end{aligned} \right\} F_D \leq 1 \quad 3-38^{156}$$

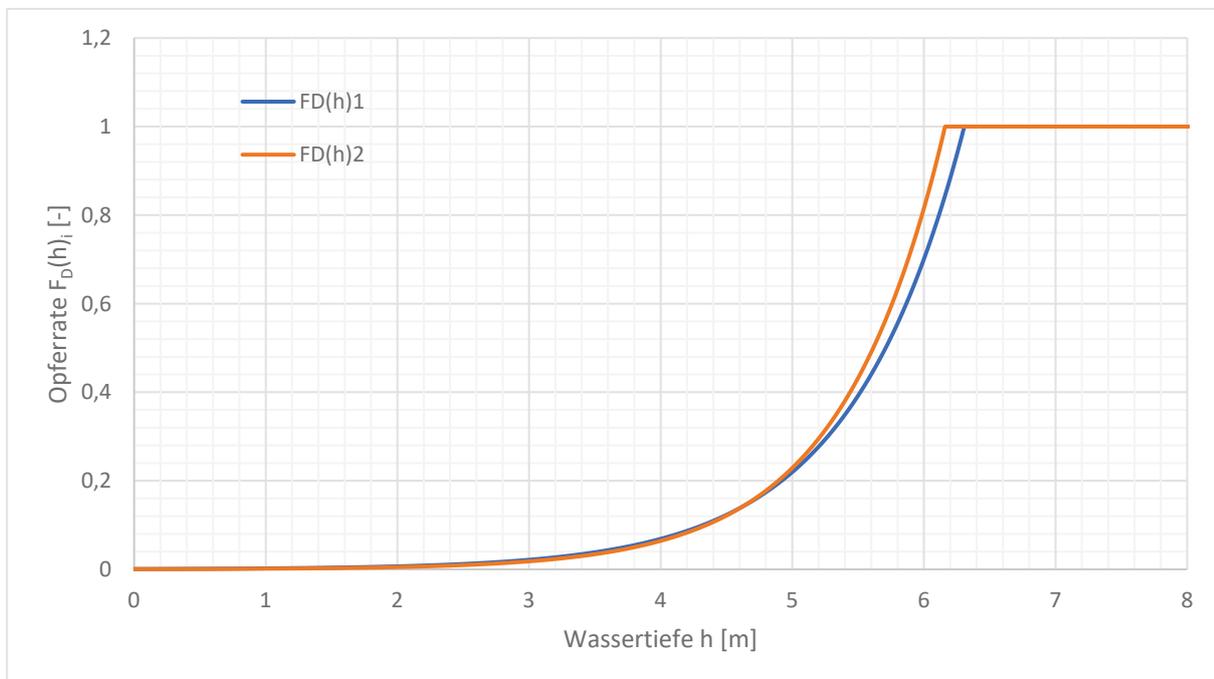


Diagramm 3.10: Darstellung von Formel 3-38 von Waarts (1992)

Mit diesem Modell steigt die Opferrate rapide an, nachdem eine Wassertiefe von etwa 5 m überschritten wird (siehe Diagramm 3.10). Dieser Effekt kann dadurch erklärt werden, dass ab dieser Wassertiefe die meisten Häuser komplett unter Wasser stehen, sie also keinen Schutz mehr bieten.

<sup>156</sup> Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijing, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods, S.197

### 3.3.2.2 VROUWENVELDER UND STEENHUIS (HKV 2000)<sup>157</sup>

Basierend auf dem Model von Waarts wurde von Vrouwenvelder und Steenhuis ein weiteres Modell entwickelt. In ihrer Annahme entwickelten sie ein Modell, welches die Geschwindigkeit mit der das Wasser ansteigt berücksichtigt da schneller ansteigende Wasserspiegel zu mehr Todesopfern führen. Bei diesem Modell handelt es sich auch um das derzeitige Standardmodell der Niederlande (HKV, 2000). Die Dosis-Wirkungsfunktion lässt sich wie folgt angeben:

$$F_D = 0 \quad h < 3m \quad \text{oder} \quad w < 0,3m/h$$

$$F_D(h, w) = \text{MIN}(\text{MAX}(8,5 \cdot e^{0,6 \cdot h - 6} - 0,15; 0); 1) \cdot \text{min}(\text{max}(8,5 \cdot e^{1,2 \cdot w - 4,3} - 0,15; 0); 1) \quad \text{3-39}^{157}$$

$$F_D = 1 \quad h > 6,25m \quad \text{und} \quad w > 2m/h$$

mit

$h$  Wassertiefe [m]

$w$  Wasseranstieg [m/h]

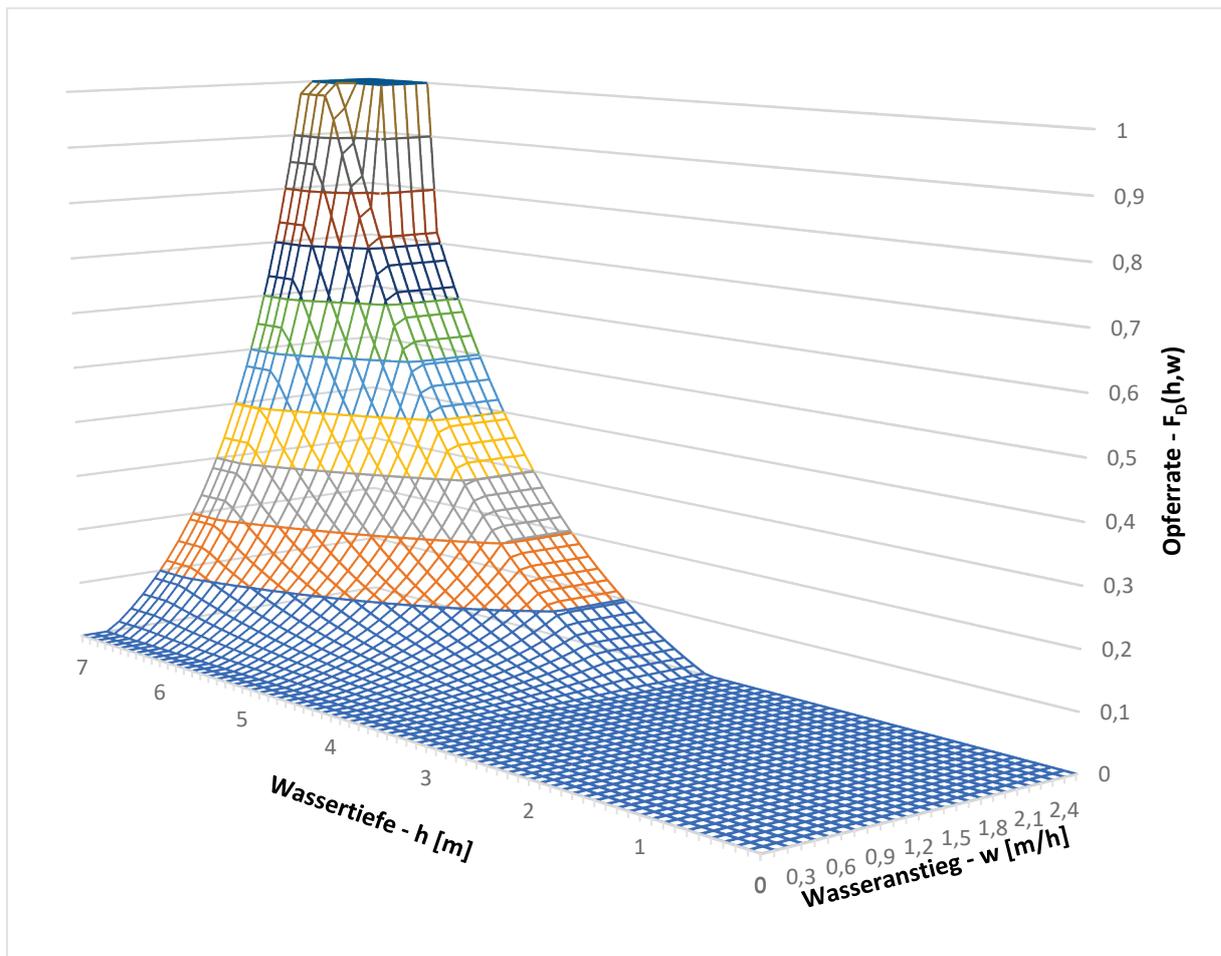


Diagramm 3.11: Darstellung von Formel 3-39 von Vrouwenvelder und Steenhuis (HKV 2000)

<sup>157</sup> Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijling, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods, S.198

Für dieses Modell gelten dieselben limitierenden Faktoren wie beim Modell von Waarts. So wurden für diese Modelle nur Daten der Sturmflut von 1953 verwendet und bei Wassertiefen unter 3,0 m wird eine Opferrate von 0 angenommen. Die Daten der Sturmflut von 1953 zeigen allerdings, dass ungefähr ein Drittel der Todesopfer in Gebieten mit Wassertiefen unter 3 m zu beklagen sind.

Basierend auf der Sturmflut von 1953 wurde von Vrouwenvelder und Steenhuis ein weiteres Modell entwickelt. Dieses berücksichtigt drei Ursachen für das Ertrinken:<sup>158, 159</sup>

- **Einsturz von Gebäuden in der Nähe des Sperrenbruchs**

Aufgrund von hohen Strömungsgeschwindigkeiten werden Gebäude nahe des Sperrenbruchs mehr oder weniger zerstört. Die Anzahl der Personen die durch solche Ereignisse Ertrinken kann wie folgt modelliert werden:

$$P_B \cdot F_B \quad \text{3-40}^{160}$$

mit

$P_B$     Wahrscheinlichkeit eines Dammbbruchs nahe dem Wohngebiet  
 $F_B$     Fraktion der Todesopfer durch einstürzende Gebäude

- **Einsturz von Gebäuden durch Wellenangriff**

$$P_S \cdot F_S \quad \text{und} \quad F_S = \alpha \cdot 10^{-3} \cdot h^{1,8} \cdot r \quad \text{3-41}^{160}$$

mit

$P_S$     Wahrscheinlichkeit für einen Sturm (1 für Fluten an Küsten, 0,05 für Flussüberschwemmungen)  
 $F_S$     Fraktion der Todesopfer durch einstürzende Gebäude durch den Sturm/Wellenangriff  
 $\alpha$     Materialfaktor  
           Einfamilienhäuser, Bauernhöfe und niedrige Bauten = 0,8  
           Hochbauten = 0,4  
 $h$     Wassertiefe [m]  
 $r$     Situationsabhängiger Faktor für Personen in sicheren Zufluchtsorten (sheltor factor) (1 kein Schutz, 0 maximaler Schutz)

- **Andere Gründe des Ertrinkens**

Dieser Bereich wird so wie die Standardmethode modelliert (siehe Gleichung 3-39).

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren und einen zusätzlichen Faktor der die Evakuierung von Personen beinhaltet kann die Opferrate wie folgt berechnet werden:

$$F_D = (F_O + P_B \cdot F_B + P_S \cdot F_S) \cdot (1 - F_E) \quad \text{3-42}^{161}$$

<sup>158</sup> Kok, M.; Huizinga, H. J.; Vrouwenvelder, A. C. W. M.; Barendregt, A. (2004): Standaardmethode 2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, *Rijkswaterstraat (Ministerium für Verkehr und Wasserstraßen)*

<sup>159</sup> Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijling, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods, S.199 ff

<sup>160</sup> Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijling, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods, S.199

<sup>161</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.170

### 3.3.2.3 STANDAARMETHODE 2004

2004 wurde ein weiteres Modell entwickelt welcher den Wasseranstieg, die Wassertiefe sowie die Strömungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden, um die Opferrate zu berechnen. Dabei erfolgte eine Einteilung in 3 Kategorien:<sup>162</sup>

- **Opferrate bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten**

$$F_D(h) = 1 \quad \text{für } h \cdot v \geq 7 \text{ und } v \geq 2 \quad \text{3-43}^{162}$$

- **Opferrate bei schnellem Wasseranstieg**

$$F_D(h) = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot h} \quad \text{für } w \geq 0,5 \text{ und } 1,5 \leq h \leq 4,7 \quad \text{3-44}^{162}$$

$$F_D(h) = 1 \quad \text{für } w \geq 0,5 \text{ und } h > 4,7$$

- **Opferrate in den übrigen Gebieten**

$$F_D(h) = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot h} \quad \text{für } w < 0,5 \text{ und } h > 0 \quad \text{3-45}^{162}$$

$$F_D(h) = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot h} \quad \text{für } w \geq 0,5 \text{ und } h < 1,5$$

In Diagramm 3.12 ist dieses Modell für eine Fließgeschwindigkeit von 1,2 m/s dargestellt.

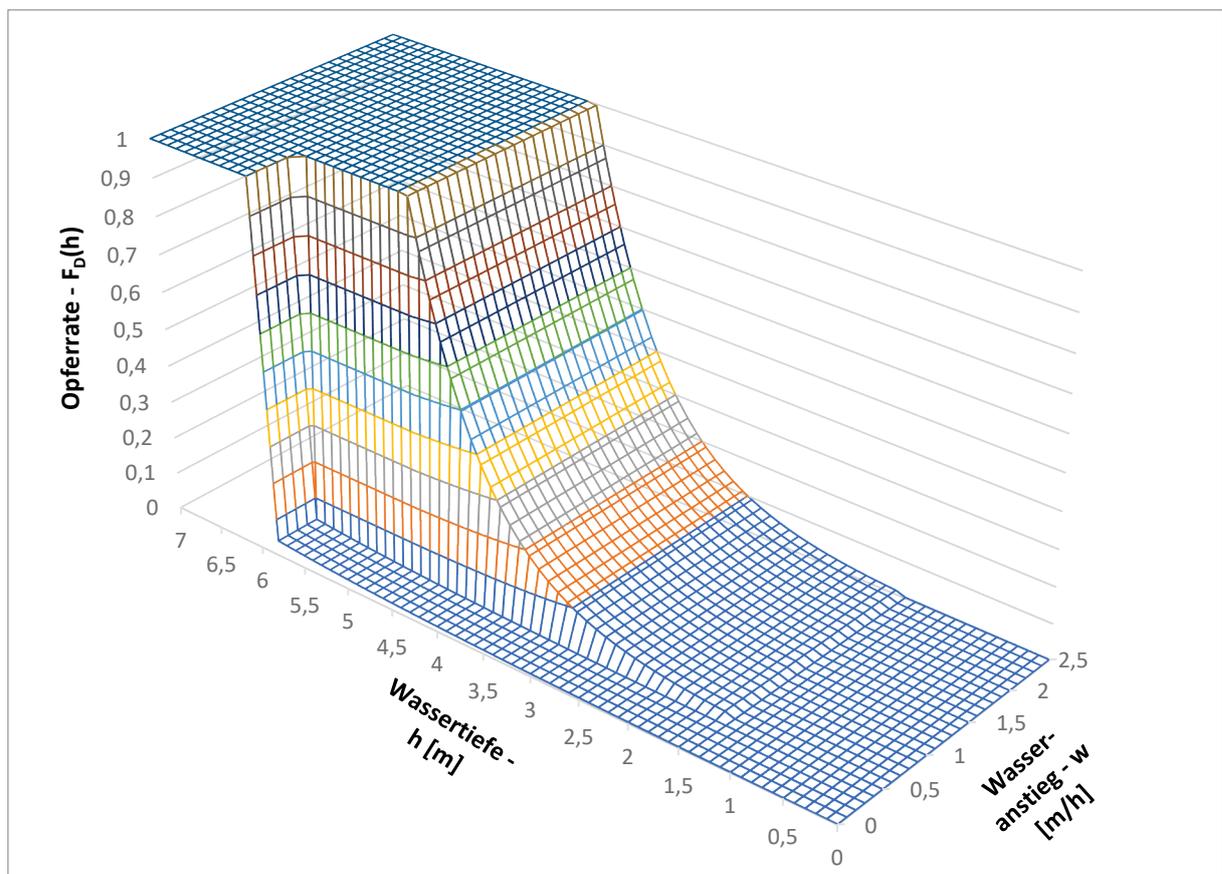


Diagramm 3.12: Darstellung der Formeln 3-43, 3-44 und 3-45 der Standardmethode2004

<sup>162</sup> Kok, M.; Huizinga, H. J.; Vrouwenvelder, A. C. W. M.; Barendregt, A. (2004): Standaardmethode2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, *Rijkswaterstraat (Ministerium für Verkehr und Wasserstraßen)*, S.29-30

Neben der Berechnung der Opferrate weist diese Methode auch Modelle für wirtschaftliche Schäden sowie Berechnungen zu Schadensfolgen von Gebäuden auf, welche den Berechnungen von Vrouwenvelder und Steenhuis gleichen.

### 3.3.2.4 JONKMAN 2001<sup>163</sup>

Bereits 2001 wurde von Jonkman ein erstes Modell zur Abschätzung von Opferzahlen entwickelt. Bei dieser Methode verwendete Jonkman die von Waarts hergeleitete Funktion (siehe Gleichung 3-38), um die Wahrscheinlichkeit des Ertrinkens als Funktion der Wassertiefe und des Flutmusters (flood pattern) zu ermitteln.

$$P_{d|i}(h) = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 \cdot h} \quad \mathbf{3-46^{163}}$$

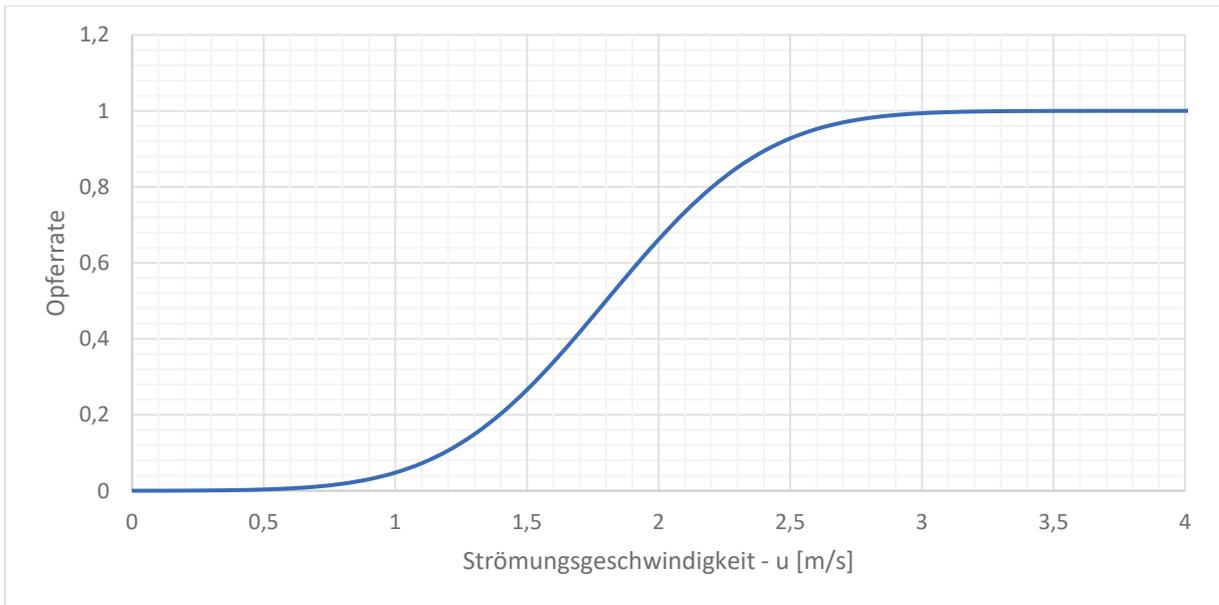
Des Weiteren gibt Jonkman auch eine Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeiten und deren Einfluss auf Gebäude und Menschen an. Die kritischen Strömungsgeschwindigkeiten, die dabei zur Instabilität von Menschen im Wasser führen, stimmen dabei sehr gut mit den kritischen Strömungsgeschwindigkeiten, bei denen Gebäude versagen, zusammen. Gleichung 3-47 ist in Diagramm 3.13 graphisch dargestellt.

$$P_{d|i}(u) = P(u > u_{cr}|i) = \Phi_N\left(\frac{u - \mu}{\sigma}\right) \quad \mathbf{3-47^{163}}$$

mit

$u$	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
$P_{d i}(u)$	Wahrscheinlichkeit des Ertrinkens als Funktion von $u$ bei Flut $i$
$P(u > u_{cr} i)$	Wahrscheinlichkeit, dass die Strömungsgeschwindigkeit $u$ größer als die kritische Strömungsgeschwindigkeit $u_{cr}$ ist, in der Menschen ertrinken.
$\Phi_N(x)$	Normalverteilung
$\mu$	1,8 m/s
$\sigma$	0,48 m/s

<sup>163</sup> Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijling, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods, S.199



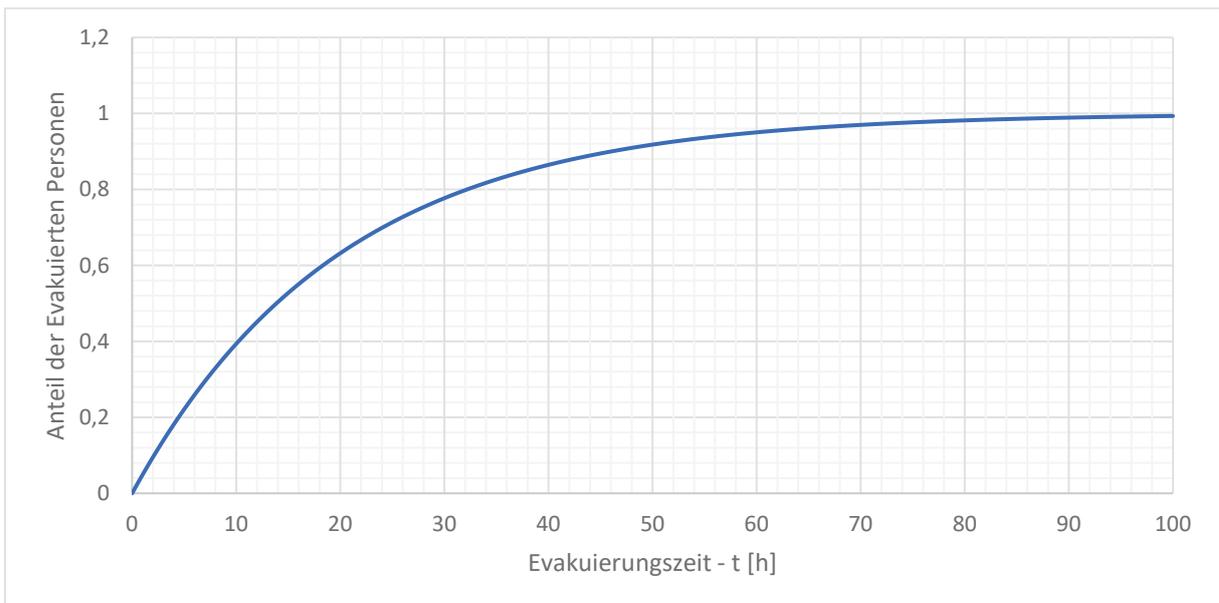
**Diagramm 3.13: Darstellung Formel 3-47 von Jonkman (2001)**

Als dritte Einflussgröße gibt Jonkman ein vereinfachtes Modell für die Evakuierung an (siehe Gleichung 3-48 und Diagramm 3.14).

$$P_{e|i}(t) = P(t > t_{cr}|i) = 1 - e^{-\frac{t}{20}} = 1 - e^{-0,05 \cdot t} \quad \text{3-48}^{164}$$

mit

- $t$                       Zeit die für die Evakuierung zur Verfügung steht (Stunden)
- $P_{e|i}(t)$               Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Evakuierung
- $P(t > t_{cr}|i)$         Wahrscheinlichkeit, dass  $t$  größer ist als die kritische Evakuierungszeit
- $t_{cr}$



**Diagramm 3.14: Darstellung Formel 3-48 von Jonkman (2001)**

<sup>164</sup> Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijling, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods, S.199

Alle drei Faktoren, Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit und Evakuierungszeit, sind dabei Funktionen des Ortes innerhalb des Überschwemmungsgebiets. Des Weiteren wird angenommen, dass das Ertrinken zufolge großer Wassertiefen und das Ertrinken zufolge großer Strömungsgeschwindigkeit voneinander unabhängig sind. Die Wahrscheinlichkeit des Ertrinkens mit Evakuierung ergibt sich folglich zu:

$$P_{d|i,evac}(x,y) = \left(1 - P_{e|i}(t(x,y))\right) \cdot \left(P_{d|i}(u(x,y)) + P_{d|i}(h(x,y))\right) \quad P_{d|i,evac}(x,y) \leq 1$$

3-49<sup>165</sup>

$$= e^{-0,05 \cdot t(x,y)} \cdot \left(P_{d|i}(u(x,y)) + P_{d|i}(h(x,y))\right)$$

Gleichung 3-49 ist in Diagramm 3.15 für eine Evakuierungszeit von 2 Stunden graphisch aufgearbeitet.

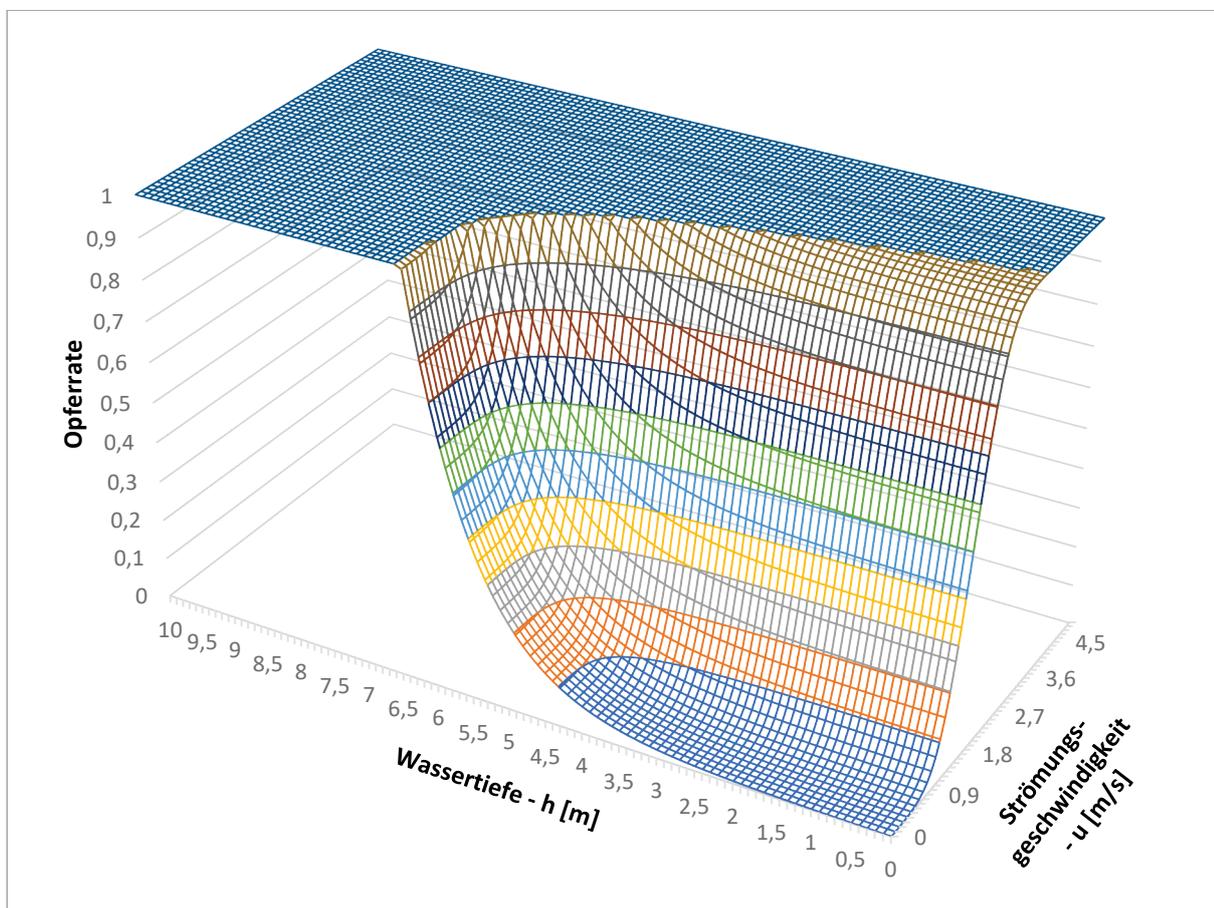


Diagramm 3.15: Darstellung Formel 3-49 von Jonkman (2001) bei einer Evakuierungszeit von 2 Stunden

<sup>165</sup> Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijling, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods, S.200

### 3.3.3 ANWENDUNG / HERLEITUNG DER METHODE VON JONKMAN

Die zuvor vorgestellten Methoden weisen einige Schwächen auf, da sie anhand von limitierten Daten erstellt und wichtige Faktoren, wie z.B. Evakuierung, nicht berücksichtigen wurden. Aus diesem Grund hat Jonkman eine Methode erarbeitet, welche diese wichtigen Faktoren berücksichtigen soll (siehe Tabelle 3.3.1).

Jonkman erarbeitete sein Modell dabei basierend auf folgende grundlegende Struktur.

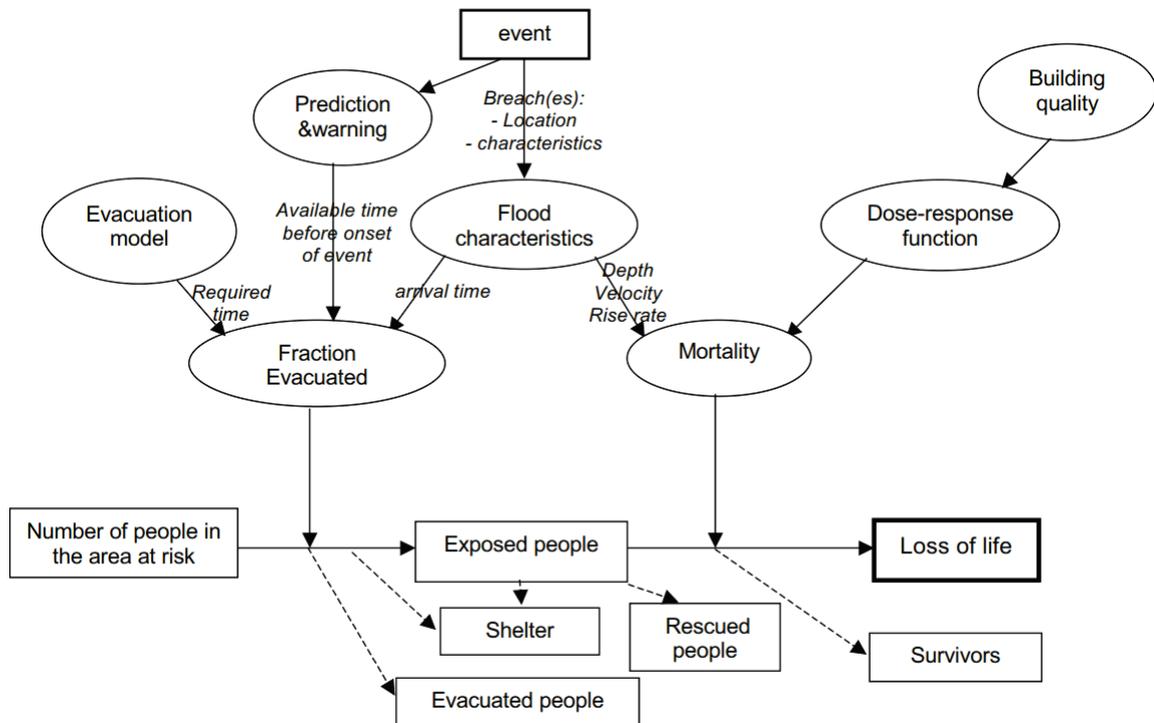


Abb. 3.7: Grundlegende Struktur für LOL-Estimations<sup>166</sup>

<sup>166</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.189

**Tabelle 3.3.1: Übersicht über die relevanten Faktoren für LOL-Estimations<sup>167</sup>**

Faktor	Aussetzung	Sterblichkeit	Kommentare	Verfügbare Daten	Relevanz
<b>Physikalische Ereignischarakteristika</b>					
Wassertiefe		X	Wichtig, da tieferes Wasser weniger Möglichkeiten von Unterschlüpfen zulässt. Beeinflusst auch den Einsturz von Gebäuden.	Fallstudien	Hoch
Wasseranstiegsrate		X	Bestimmt die Möglichkeit von Unterschlüpfen und beeinflusst den Einsturz von Gebäuden.	Fallstudien	Hoch
Fließgeschwindigkeit		X	Hohe Fließgeschwindigkeiten führen zu Instabilität von Menschen im Wasser und zum Einsturz von Gebäuden.		Hoch
Ankunftszeit der Flutwelle	X		Definiert die verfügbare Zeit für Evakuierungen	Dammbrüche (Graham, 1999)	Hoch
Zeitpunkt (Tag/Nacht)	X	X	Beeinflusst: Vorhersehbarkeit, Bereitschaft und Möglichkeiten der Vorwarnzeit und des Unterschlupfs		Mittel
Tageszeit, Wochentag und Jahreszeit	X		Beeinflusst die Bevölkerungsdichte und Vorwarnungsmöglichkeiten		Mittel
Trümmer		X	Flutwellen, die Trümmer mitführen stellen eine größere Gefahr dar.		Mittel
Wassertemperatur		X	Definiert die Überlebenswahrscheinlichkeit von Personen im Wasser.		Mittel / Niedrig
Wellen		X	Können Gebäude beschädigen		Niedrig / Mittel
Dauer der Überschwemmung		X	Beeinflusst Opferrate von Personen, die zu Hause festsitzen. Weniger für direkt Opfer.		Niedrig
Wasserqualität / Verschmutzung		X	Kann zu Verletzungen und Krankheiten führen. Weniger für direkte Opfer.		Niedrig
<b>Systemcharakteristika</b>					
Systemfaktoren bezogen auf physische Systemkonfigurationen					
Kapazität der Infrastruktur	X		Definiert die benötigte Zeit für die Evakuierung.		Hoch
Sicherer Unterschlupf (Shelter)	X	X	Reduziert oder verhindert die Beeinträchtigung durch Flutwellen.		Hoch
Qualität der Gebäude		X	Definiert die Einsturzwahrscheinlichkeit	Fallstudien	Hoch
Systemfaktoren bezogen auf Organisation					
Vorhersagen und Warnen	X	X	Essentiell für Evakuierungen	Fallstudien (kategorisiert)	Hoch
Evakuierungspläne und Organisation	X		Kann Entscheidungen, Warnungen und Evakuierungen beschleunigen		Hoch / Mittel
Bevölkerung (Alter, Geschlecht, Gesundheit)		X	Wichtig für individuelles Überleben. Weniger für große, durchschnittliche Bevölkerungen.	Individuell (qualitativ)	Mittel
Reaktion und Verhalten	X	X	Wichtig für Evakuierungen und Überlebenschancen während der Flut.	Individuell (qualitativ)	Mittel
Rettungsaktionen	X		Entfernt Personen von gefährlichen Orten (Wasser, Gebäude, Bäume)		Mittel
Gefährliche Installationen		X	Kann zu sekundären Ereignissen führen, aber mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit (z.B. Fukushima)		Niedrig

<sup>167</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.168

**SCHRITT 1: SIMULATION DER FLUTCHARAKTERISTIKA**

Die wichtigsten Parameter für die Abschätzung der Opferzahlen sind:

- Wassertiefe
- Wasseranstieg
- Fließgeschwindigkeit
- Ankunftszeit der Flutwelle

Diese Daten können durch eine Flutwellensimulation gewonnen werden. Andere wichtige Parameter, wie die Wassertemperatur und treibende Trümmer sind schwieriger zu berechnen oder abzuschätzen.<sup>168</sup>

***FLUTWELLENSIMULATION***

Die Simulation der Flutwelle kann als 1D oder 2D Modell erfolgen. In der einfacheren 1D-Berechnung kann die Wassertiefe über die Zeit in einem bestimmten Gebiet als Funktion des hereinfließenden Abflusses und der Oberfläche des überfluteten Gebiets betrachtet werden.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q(t)}{A(h)} \quad 3-50^{169}$$

mit

- $t$       Zeit [s]  
 $Q(t)$     Abfluss der in das Gebiet fließt als Funktion der Zeit [m<sup>3</sup>/s]  
 $A(h)$     Oberfläche des überfluteten Gebiets als Funktion der Wassertiefe [m<sup>2</sup>]

Aus Gleichung 3-50 kann durch den Vergleich zweier Zeitschritte die Rate des Wasseranstiegs einfach hergeleitet werden. Da der Wasseranstieg über die Zeit nicht konstant ist, definiert Jonkman den Wasseranstieg als Mittelwert, der sich aus jener Zeit ergibt, die benötigt wird bis das Wasser 1,5 m angestiegen ist. Diese 1,5 m ergeben sich aus der einfachen Tatsache, dass bei dieser Tiefe in etwa der menschliche Kopf erreicht wird. Dadurch soll verhindert werden, dass zu hohe Wasseranstiegsraten verwendet werden, welche sich bei geringen Tiefen oftmals ergeben (siehe Abb. 3.8).<sup>169</sup>

<sup>168</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.189

<sup>169</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.190

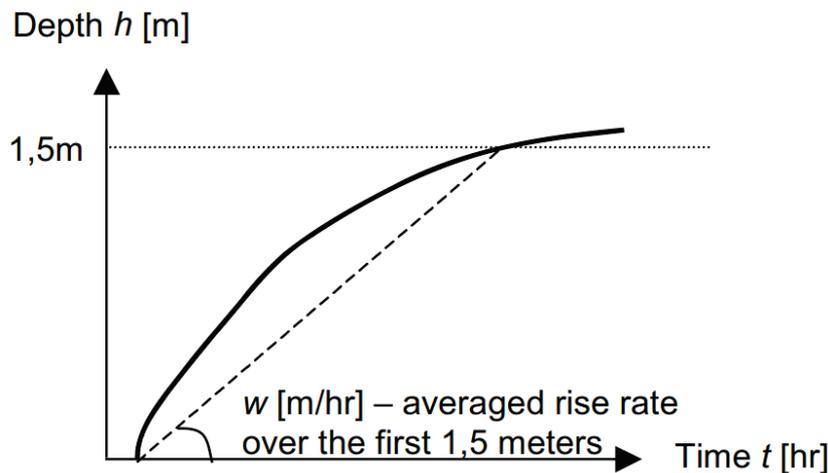


Abb. 3.8 Abschätzung der Wasseranstiegsrate<sup>170</sup>

Abb. 3.8 zeigt einen typischen Verlauf der Wassertiefe  $h$  über die Zeit  $t$ . Bei sehr geringem Anstieg (wenige cm) würde sich ein viel zu hoher Wert für die Wasseranstiegsrate ergeben und dadurch das Ergebnis verfälschen.

Diese Herangehensweise weist allerdings auch einige Nachteile auf. So kann z.B. die Ankunftszeit der Flutwelle nicht bestimmt werden, da bei diesem Modell angenommen wird, dass ab dem Zeitpunkt des Bruchs das Wasserniveau im gesamten Gebiet gleichmäßig ansteigt.

Für die Anwendung von Einschätzungen über Opferzahlen empfiehlt Jonkman die Verwendung von 2D-Modellen, da aus diesen Werte für Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe, Ankunftszeit der Welle und Wasseranstieg direkt berechnet werden können. Bei der Berechnung von den Opferzahlen soll man dabei auf lokale Maximalwerte der Simulation zurückgreifen, damit liegt die Einschätzung der Opferzahlen auf einer sehr konservativen Seite.<sup>170</sup>

### **SCHRITT 2: ANZAHL DER PERSONEN, DIE DER FLUT AUSGESETZT SIND**

Die Anzahl der Personen, die der Flut ausgesetzt sind setzt, sich wie folgt zusammen:

$$EXP = (1 - F_E(T_A)) \cdot (1 - F_S) \cdot PAR - RES \quad 3-51^{171}$$

mit

$EXP$  Anzahl der Personen, die der Flut ausgesetzt sind

$F_E(T_A)$  Anteil der evakuierten Personen abhängig von der verfügbaren Zeit  $T_A$

$F_S$  Anteil der Bevölkerung die einen Unterschlupf findet. In ersten Annahmen entspricht dieser Anteil, dem Anteil der Personen in hohen Gebäuden.

$PAR$  Population at Risk

$RES$  Anzahl der geretteten Personen

<sup>170</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.190

<sup>171</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.197

In ersten Abschätzungen können die Faktoren für die Evakuierung und den Unterschlupf als konstant über das gesamte Gebiet angenommen werden. In detaillierteren Untersuchungen sollte allerdings die räumliche Verteilung dieser Faktoren berücksichtigt werden.

### **EVAKUIERUNG**

Die Evakuierung bzw. die Zeit der Evakuierung setzt sich aus zwei wesentlichen Bestandteilen zusammen:

- Verfügbare Zeit
- Erforderliche Zeit

### **VERFÜGBARE ZEIT / VORWARNZEIT**

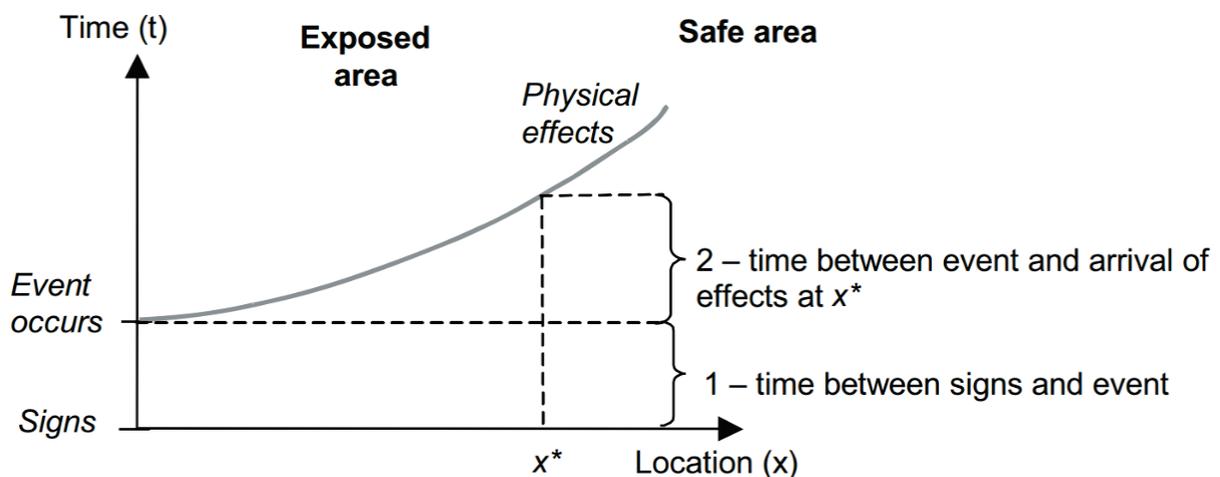
Die Vorwarnzeit oder anders die Zeit die zur Verfügung steht bevor die Flutwelle eintrifft, setzt sich nach dem Modell von Jonkman aus zwei wesentlichen Elementen zusammen (siehe auch Abb. 3.9):<sup>172</sup>

#### **1. Verfügbare Zeit vor Beginn der Überschwemmung**

Jene Zeit die zwischen ersten Anzeichen und dem Beginn der Flut (z.B. Dambruch) zur Verfügung steht.

#### **2. Verfügbare Zeit nach Beginn der Überschwemmung**

Jene Zeit die zwischen dem Beginn der Flut (z.B. Dambruch) und dem Eintreffen der Flutwelle zur Verfügung steht. Dieser Teil, der Einteilung der Vorwarnzeit, entspricht auch der Definition von Graham für die Vorwarnzeit (siehe Kapitel 3.2).



**Abb. 3.9: Elemente, die die verfügbare Zeit beeinflussen**<sup>173</sup>

### VERFÜGBARE ZEIT VOR BEGINN DER ÜBERSCHWEMMUNG

Die verfügbare Zeit bevor die Flut beginnt hängt in erster Linie von der Art der Flut selbst ab. Es ist ein großer Unterschied, ob es sich um einen Fall mit starken Regenfällen handelt oder höheren Durchflüssen eines Flusses. Starke Regenfälle könne in einem Gebiet innerhalb

<sup>172</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.192

<sup>173</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.47

weniger Stunden zu einer Überschwemmung führen, wohingegen hohe Durchflüsse von Flüssen bereits einige Tage zuvor vorhergesehen werden können.

Weiters ist auch die Auftretswahrscheinlichkeit des Versagensmechanismus wichtig. Das Überströmen von Dämmen, ist z.B. direkt mit den Wasserständen im Reservoir verbunden und kann daher bereits sehr früh erkannt werden. Andere Mechanismen, wie z.B. Piping oder Instabilität, sind schwieriger zu erkennen.

Zu beachten ist allerdings, dass obwohl der Eintritt eines Ereignisses Vorhergesagt werden kann, trotzdem der exakte Zeitpunkt des Versagens schwer vorherzusehen ist.

Tabelle 3.3.2 zeigt Werte, die die verfügbare Zeit vor Beginn der Überschwemmung einschätzen sollen. Dabei handelt es sich allerdings nicht um analytisch ermittelte Werte, sondern um Werte die durch Experteneinschätzungen definiert wurden.<sup>174</sup>

**Tabelle 3.3.2: Einschätzung der verfügbaren Zeit durch Experten** <sup>174</sup>

System	Fehlermechanismus	Einschätzung der verfügbaren Zeit [h]		
		5 %	50 %	95 %
Küste (Nord See)	Überströmen	4	12	51
Fluss (Rhein)	Überströmen	24	60	120
	Piping	24	54	120
	Versagen von wasserbaulichen Strukturen	24	58	120
Fluss (Meuse)	Stabilität	16	28	41
Fluss (Meuse Rotterdam)	Stabilität	4	11	21

#### VERFÜGBARE ZEIT NACH BEGINN DER ÜBERSCHWEMMUNG

Die Ankunftszeit der Flutwelle an einem bestimmten Punkt kann aus der Simulation der Flutwelle ermittelt werden. In Kombination mit der verfügbaren Zeit bis zum Beginn der Flut ergibt sich die gesamte verfügbare Zeit oder Vorwarnzeit.

In manchen Fällen macht es Sinn, diesen Teil der Vorwarnzeit gleich null zu setzen, also davon auszugehen, dass ab Beginn des Dammbrochs das Wasser ansteigt. Diese Vorgehensweise kann sinnvoll sein, wenn durch den Dammbroch die Evakuierung verhindert oder sehr stark eingeschränkt wird (Verkehrsstaus, organisatorische Probleme).<sup>174</sup>

#### **ERFORDERLICHE ZEIT**

Zu Beginn muss das gefährdete Gebiet (*exposed Area*) und die Anzahl der Personen in diesem Gebiet (*PAR*) ermittelt werden. Für sehr große Gebiete scheint es logisch, dass die Anzahl der Personen in diesem Gebiet gleich der Größe der Bevölkerung in diesem Gebiet entspricht. Das heißt, dass dynamische Veränderungen (z.B. durch Tourismus – Sommer/Winter, Arbeitszeiten – Arbeitsplatz in anderen Gebiet, etc.) vernachlässigbar sind.

<sup>174</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.192

In kleineren betroffenen Gebieten können dynamische Veränderungen der Bevölkerung einen großen Einfluss aufweisen. Auch eine Berechnung für unterschiedliche Tages- und Jahreszeiten erweist sich zumeist als notwendig.

Für die erforderliche Zeit der Evakuierung sind dabei mehrere Faktoren zu berücksichtigen:<sup>175</sup>

- Erforderliche Zeit um Entscheidungen zu treffen
- Warnung
- Effizienz der Warnung
- Erforderliche Zeit für Warnungen
- Reaktions-Phase
- Beachtung der Warnung
- Benötigte Zeit für Reaktionen

Der Zusammenhang dieser Faktoren ist in Abb. 3.10 dargestellt.

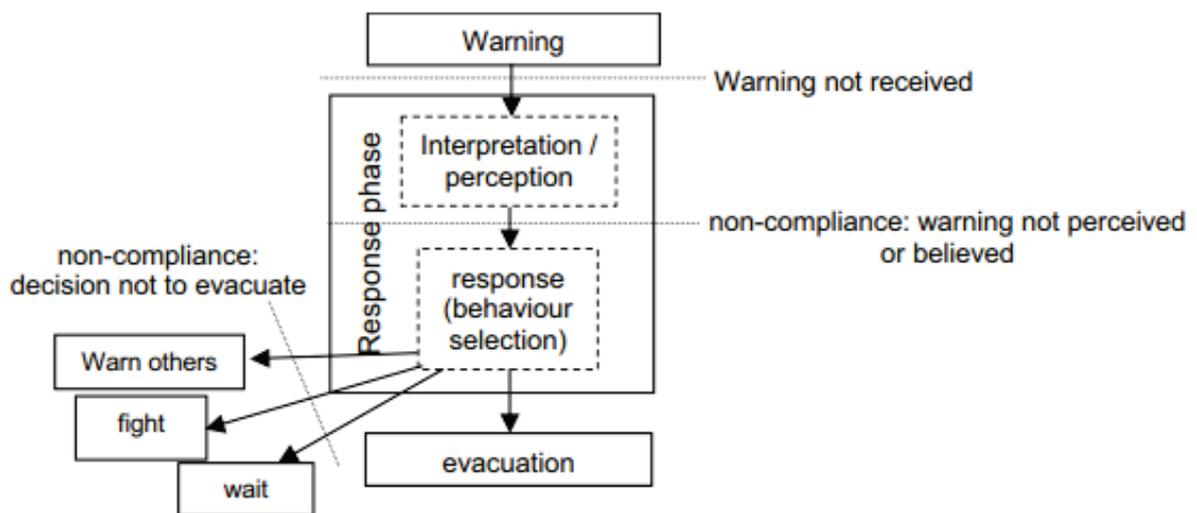


Abb. 3.10: Leitfaden für Reaktion auf Warnungen bei einem Notfall<sup>176</sup>

Die Evakuierung selbst kann in drei wesentliche Phasen eingeteilt werden (siehe auch Abb. 3.11):<sup>177</sup>

- Erkennen und Entscheidungen treffen
- Warnung
- Reaktion
- Evakuierung

<sup>175</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.193

<sup>176</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.50

<sup>177</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.43

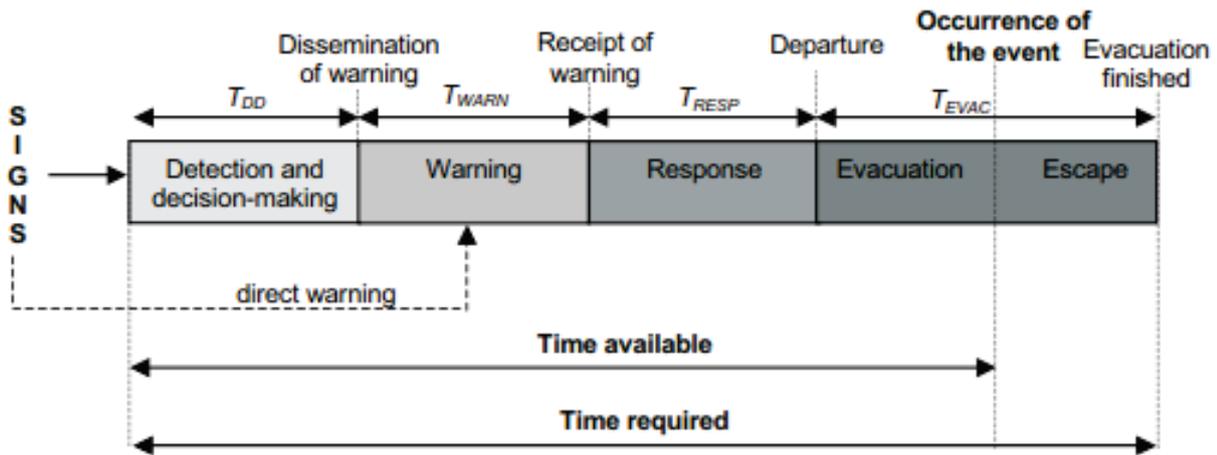


Abb. 3.11: Evakuierungs-Zeitleiste<sup>178</sup>

Weiters teilt Jonkman die Evakuierung in zwei Hauptgruppen auf. Tabelle 3.3.3 gibt erforderliche Zeiten der Evakuierungsphasen für beide Hauptgruppen an.<sup>179</sup>

- Vorbeugende Evakuierung (noch vor Versagen der Stauanlage)
- Erzwungene Evakuierung (nach Versagen der Stauanlage)

Tabelle 3.3.3: Übersicht über die Phasen der erforderlichen Zeit<sup>180</sup>

	Vorhergesehene Flut – Vorbeugende Evakuierung	Unvorhergesehene Flut – Erzwungene Evakuierung
<b>Entscheidungszeit</b>	4 Stunden	2 Stunden
<b>Vorwarnzeit</b>	2 bis 3 Stunden	2 bis 3 Stunden
<b>Anteil der gewarnten Personen</b>	0,95 bis 1	Ist Situationsabhängig (erste Einschätzungen: Offizielle Warnung: 0,8 bis 1 Keine offizielle Warnung: 0,3 bis 0,5
<b>Reaktionszeit</b>	Durchschnitt: 2,5 Stunden Ganze Bevölkerung nach 6 Stunden	Durchschnitt: 1 Stunde Ganze Bevölkerung nach 2 Stunden
<b>Anteil der Bevölkerung, der die Warnung beachtet</b>	0,95	Keine Hinweise aus Literatur

Eine weitere Beobachtung ist, dass die benötigte Zeit für Evakuierungen ansteigt, wenn die Bevölkerungsdichte abnimmt. Diese Tatsache kann durch schlechter werdende Straßennetze und die langsamere Verbreitung von Warnungen in Gebieten mit geringer Bevölkerungsdichte erklärt werden.

<sup>178</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.43

<sup>179</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.42

<sup>180</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.193

**UNTERSCHLUPF (SHELTER)**

Neben der Anzahl der, Personen die das Gebiet verlassen, also evakuieren, spielt auch die Anzahl jener Personen die einen sicheren Unterschlupf aufsuchen, eine große Rolle. Es muss allerdings beachtet werden, dass ein Teil der schutzsuchenden Menschen bereits indirekt in der Berechnung der Sterblichkeitsrate berücksichtigt wird. Dabei handelt es sich überwiegend, um vereinzelt Menschen die auf Bäume klettern oder sich in Gebäuden oder anderen Objekten aufhalten. Diese schutzsuchenden Menschen setzen die Sterblichkeitsrate indirekt herab.

Falls es große Unterschlüpfte gibt, sollten diese allerdings separat berücksichtigt werden, da aus Studien hervorgeht, dass die Sterblichkeitsrate in Unterschlüpfen, die beabsichtigt aufgesucht werden, sehr gering ist (Beispiel Superdome in New Orleans). Als erste Abschätzung dieser Unterschlüpfte, können alle Gebäude mit mindestens drei Geschossen herangezogen werden. Auch offizielle Unterschlüpfte und Erhebungen in der Landschaft können separat berücksichtigt werden.

Die Wahrscheinlichkeit einen sicheren Unterschlupf zu erreichen, hängt dabei von den gleichen Faktoren ab, wie die Evakuierung.<sup>181</sup>

**RETTUNG**

Unter Rettung fallen alle Maßnahmen, welche Überschwemmungen verhindern (z.B. durch Sandsäcke oder ein mobiler Hochwasserschutz), die Anzahl der Personen im Überschwemmungsgebiet reduziert oder die Sterblichkeitsrate herabsetzt (z.B. Versorgung von Verwundeten). Im Allgemeinen kann allerdings davon ausgegangen werden, dass gerade bei schweren, unvorhergesehenen Ereignissen Rettungsmaßnahmen erst nach einigen Stunden eingeleitet werden. Das heißt, dass Rettungsmaßnahmen keinen Einfluss auf die direkten Opfer der Flut haben.

Erst nach der Flutwelle können Rettungsmaßnahmen die Opferzahlen reduzieren. Am effektivsten verlaufen Rettungsaktionen dabei für Menschen, die auf Baumkronen, Erhöhungen oder auf Dächern sitzen. Für Personen im Wasser hängt die Überlebenschance in erster Linie von der Wassertemperatur ab (siehe Abb. 3.12).<sup>182</sup>

---

<sup>181</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.194-195

<sup>182</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.195

**Information:**<sup>183</sup>

Andere Arbeiten zeigen, dass Verhalten von Menschen bzw. die einzelnen Phasen die ein Mensch in kaltem Wasser durchläuft. Nach einer Studie der amerikanischen Küstenwache (USCG – U.S. Coast Guard) und dem U.S. Public Health Service (USPHS) werden folgende Phasen durchlaufen:

- Kälteschock (0 – 2 Minuten)
  - Je kälter das Wasser umso stärker
  - Hyperventilation
  - Erschwerte Atmung
  - Hoher Puls
  - Erhöhter Blutdruck
- Eingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten (2 – 30 Minuten)
  - Es wird Hilfe benötigt, um wieder aus dem Wasser zu gelangen.
- Hypothermie (> 30 Minuten)
  - Unterkühlung (Körpertemperatur < 35 °C) bis zur Bewusstlosigkeit
  - Nach 30 bis 120 Minuten besteht die Gefahr, dass der Kopf untergeht und die Person ertrinkt.
  - Wenn der Kopf über Wasser bleibt, kommt es nach 90 bis 180 Minuten zum Herzstillstand.

Die Studie geht dabei von Temperaturen in arktischen Gewässern aus und wurde mit Testpersonen in unterschiedlichen Körperhaltungen durchgeführt.

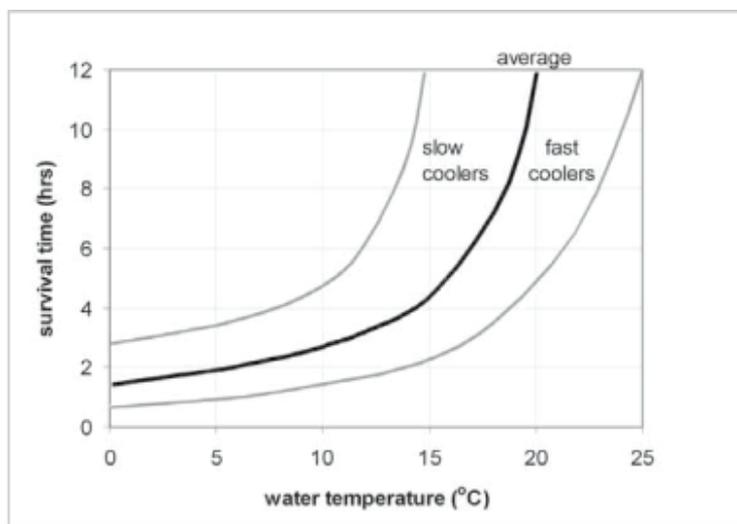


Abb. 3.12: Hayward's Kurve für Überlebenszeit in Wasser<sup>184</sup>

Hinzu kommt, dass Rettungsaktionen im Wasser gefährlich und oft problematisch sind. Analysen von vergangenen Ereignissen zeigen, dass ein wesentlicher Teil an verstorbenen, die eigentlichen Retter waren.

<sup>183</sup> Steinman, A. M.: Hypothermia, Drowning and Cold-Water Survival, *PVSS Conference, USPHS / USCG*, URL: <https://www.uscg.mil/pvs/docs/Coldwater1.pdf> - Präsentation (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>184</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.195

**Beispiel:**

Ein kurzer Exkurs vom Thema Fluten zeigt, dass oft die vermeintlichen Retter selbst zu Opfern werden. Bei den Anschlägen in New York am 11. September 2001 kamen 411 Helfer (343 Feuerwehrmänner, 60 Polizisten und 8 Sanitäter) ums Leben. Die Dunkelziffer dürfte jedoch höher sein, da neben den offiziellen Einsatzkräften auch Zivilisten helfen wollten.<sup>185</sup>

Auch am Beispiel des Teton Damms lässt sich dieses Verhalten bestätigen. Unter den 11 Opfern waren 3 junge Männer, welche in das Gefahrengebiet fuhren, um Hilfe zu leisten.

Jonkman gibt dabei eine einfache Herangehensweise, um die Anzahl der geretteten Personen abzuschätzen. Er beruft sich in seiner Herangehensweise auf geschätzte Werte eines Experten. Dieser schätzt die Rettungskapazität in den Niederlanden wie folgt ab:

- Helikopter ca. 250 Personen pro Stunde
- Boote ca. 250 Personen pro Stunde (100 Boote retten 5 Personen in 2 Stunden)

Zu diesen Werten ist zu sagen, dass sie nicht auf jedes Land angewendet werden können. Die Anzahl der Helikopter und Boote die zur Verfügung stehen, kann sehr stark variieren. Am Beispiel Österreich scheint es, gerade in alpinen Gebieten, unwahrscheinlich, dass genügend Boote vorhanden sind um 250 Personen in der Stunde zu retten. Des Weiteren geht Jonkman bei dieser Einschätzung von einem sehr großen Gebiet aus. Für kleine unzugänglichere Gebiete (wie es in Österreich der Fall sein kann) sind geringere Werte anzunehmen.

Weiters geht Jonkman davon aus, dass die meisten Opfer in den ersten 48 Stunden auftreten. Auch die Zeit bis zur Einleitung von Rettungsmaßnahmen und eine geringere Anzahl von geretteten Personen zu Beginn der Rettungen müssen berücksichtigt werden. Der Beginn der Rettungseinsätze kann dabei mit 12 bis 24 Stunden nach der Flut eingeschätzt werden (siehe Abb. 3.13).<sup>186</sup>

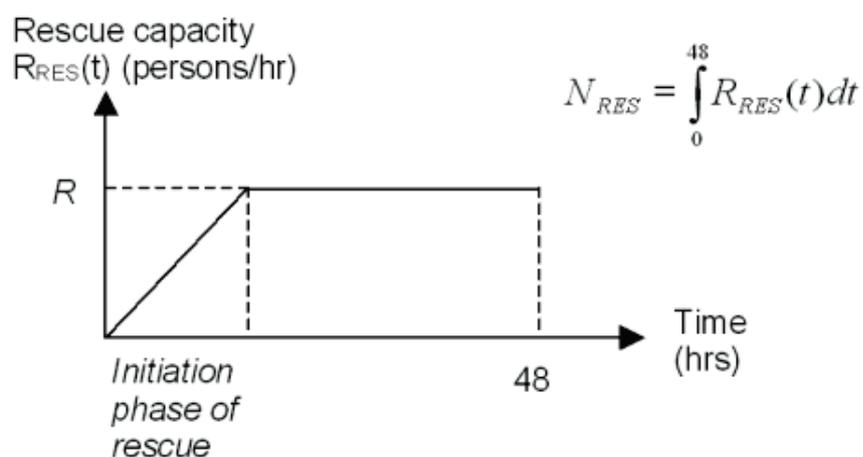


Abb. 3.13: Zusammenhang Rettung und Zeit<sup>186</sup>

<sup>185</sup> Wikipedia: Terroranschläge am 11. September 2001,

URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Terroranschlag\\_am\\_11.\\_September\\_2001](https://de.wikipedia.org/wiki/Terroranschlag_am_11._September_2001) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>186</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.196

**SCHRITT 3: BERECHNUNG DER OPFERRATE**

Bei dieser Methode wird die Opferrate in drei Kategorien aufgeteilt, welche abhängig von der Distanz zur Sperrenstelle sind. Das heißt, einer der wichtigsten Schritte bei dieser Methode ist die Aufteilung des Gebiets in unterschiedliche Zonen. Diese Zonen sind abhängig von den Flutcharakteristika.

- **Bruchzone (Breach Zone)**

Aufgrund des Stauanlagenversagens ist direkt hinter der Sperrenstelle mit sehr hohen Fließgeschwindigkeiten zu rechnen. Dies führt zum Einsturz von Gebäuden und zu einer Instabilität von Personen in der Strömung.

- **Zonen mit schnellem Wasseranstieg (Zones with rapidly rising waters)**

Aufgrund des schnellen Wasseranstiegs sind Personen nicht in der Lage Unterschlüpfе (Hügel, obere Stockwerke von Gebäuden) zu erreichen. Verbunden mit großen Wassertiefen stellt dieser Umstand eine besondere Gefahr dar.

- **Übrige Zone (Remaining Zone)**

In dieser Zone sind die Bedingungen besser, wodurch eine bessere Möglichkeit gegeben ist, Unterschlüpfе aufzusuchen. Opfer sind unter denen, die keinen Unterschlupf finden können oder unter jenen mit schlechter Gesundheit.

Ein Beispiel wie eine solche Zoneneinteilung aussehen könnte zeigt Abb. 3.14. Anzumerken ist, dass diese Abbildung für ein sehr großes, weites Gebiet gilt. Bei Sperrenbrüchen in engen Tälern würde sich die Bruchzone deutlich weiter erstrecken.<sup>187</sup>

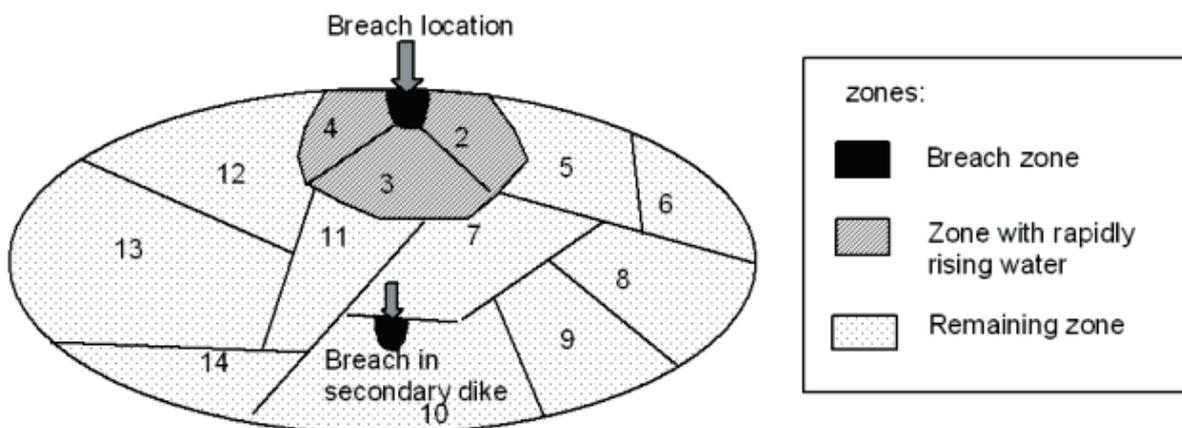


Abb. 3.14: Zoneneinteilung nach Jonkman<sup>188</sup>

Neben der Zoneneinteilung sollte des Weiteren auch noch eine Einteilung in Gebiete innerhalb der Zonen erfolgen. Die weitere Einteilung in kleinere Gebiete hat den Vorteil, dass die Opferraten genauer berechnet werden können. Die Gebiete sollen dabei jeweils Flächen mit ähnlichen Flutcharakteristika (Fließgeschwindigkeit, Wasseranstieg, Wassertiefe), sowie

<sup>187</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.197-198

<sup>188</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.198

ähnlichen Bedingungen für Unterschlüpfе aufweisen. So können also annähernd homogene Bedingungen in jedem Gebiet angenommen werden.

Für die Herleitung der Gleichungen verwendete Jonkman Daten aus 11 Ereignissen (siehe Tabelle 3.3.4), welche er wiederum in 165 Gebiete unterteilte. Die Daten wurden dabei geteilt, um Daten für die Kalibrierung der Funktionen als auch Daten, zur Überprüfung der hergeleiteten Gleichungen, zu erhalten. Einige der zuvor genannten Variablen wurden dabei nicht berücksichtigt, da nicht ausreichend Daten für sie vorhanden waren. Dazu gehören, die Wassertemperatur, Treibholz und die Dauer der Flut. Das Fehlen dieser Daten kann auch die Abweichungen der berechneten Opferrate zur tatsächlichen erklären. Die hergeleiteten Gleichungen stützen sich dabei in erster Linie auf die Wassertiefe, da für diesen Faktor die genauesten Daten vorhanden waren. Die Fließgeschwindigkeit wiederum wurde nur für die Bruchzone miteinbezogen, da sie große Schwankungen über das gesamte Gebiet aufweist.<sup>189</sup>

**Tabelle 3.3.4: Verwendete Daten von Jonkman für die Herleitung der Gleichungen zur Opferabschätzung<sup>190</sup>**

Datum	Ereignis / Ursache	Land	Opfer	Betroffene Bevölkerung	Anzahl der Gebiete	Verfügbare Daten
<b>Für die Herleitung/Kalibrierung der Funktionen verwendete Ereignisse</b>						
09.09.1934	Typhoon Muroto	Japan, Osaka Bay	843	Ungewiss (1,7 Millionen Einwohner)	10	h, F <sub>B</sub>
03.09.1950	Typhoon Jane	Japan, Osaka Bay	204	Ungewiss (850.000 Einwohner)	10	h, F <sub>B</sub>
30.01.1953	Sturmflut, Nordsee	UK, Ostküste	197	26.900	13	h, Warnung
01.02.1953	Sturmflut, Nordsee	NL, Südwesten	1795	206.400	91	h, w, F <sub>B</sub> , Dauer, Warnung
26.09.1959	Ise Bay Typhoon	Japan, Ise Bay	4152	432.465	30	h, F <sub>B</sub> , Warnung, Verhältnis des Ufermauer-versagens
08.09.1965	Hurricane Betsy	USA, Louisiana	51	Ungewiss (200.000 Einwohner)	4	F <sub>F</sub> , h
<b>Für die Validierung verwendete Ereignisse</b>						
1912	Flussüberschwemmungen	UK, Norwich	4	2500	1	h
August 1952	Flussüberschwemmungen	UK, Lynmouth	34	400	3	h
25.01.1981	Sturzfluten	Südafrika, Laingsburg	104	185	1	h
24.09.1999	Typhoon No. 18	Japan, Shiranui town	13	200	1	h
Herbst 2002	Flussüberschwemmungen	UK, Gowdall	0	250	1	h

<sup>189</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.199 - 200

<sup>190</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.200

**BRUCHZONE**

Die Daten, welche Jonkman zur Herleitung der Opferraten verwendete (siehe Tabelle 3.3.4), wiesen nicht genügend Informationen auf, um eine empirische Herleitung einer Funktion zu erstellen. Aus diesem Grund stützt sich seine Funktion auf Informationen aus der Literatur. Basierend auf den Erkenntnissen, dass die Instabilität von Personen und Schäden an Gebäuden durch eine Funktion des Tiefe-Geschwindigkeits-Produkts abgeschätzt werden kann, kann eine Grenze für die Bruchzone definiert werden.

Diese Kriterien geben ungefähr an, ab wann Gebäude versagen. Diese Geschwindigkeiten und Tiefen treten in erster Linie direkt hinter der Bruchstelle auf, können allerdings bei bestimmten Gegebenheiten auch an anderen Stellen überschritten werden. Es wird angenommen, dass die meisten Personen, die sich noch in diesem Gebiet befinden, in den Gebäuden bleiben und, dass wenn diese Gebäude einstürzen niemand überlebt. Das heißt, dass für die Bruchzone eine Opferrate von  $F_D = 1$  angenommen wird. Diese Annahme ist eher konservativ, da eine gewisse Chance besteht, dass Personen von der Flut mitgerissen werden und überleben.<sup>191</sup>

$$F_D = 1 \quad \text{für} \quad hv \geq 7 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{und} \quad v \geq 2 \text{ m/s} \quad \text{3-52}^{192}$$

**GRÖÖE DER BRUCHZONE**

Die Größe der Bruchzone wurde mit einem einfachen analytischen Verfahren abgeschätzt. Ein konstanter Durchfluss aus dem Bruch wird angenommen und eine radiale Ausbreitung der Flutwelle hinter der Bruchstelle. Die Definition der Bruchzone ist in Abb. 3.15 dargestellt.

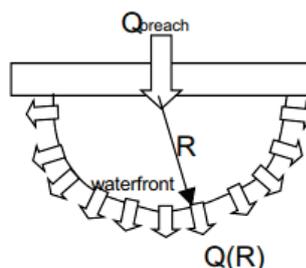


Abb. 3.15: Schematische Darstellung der Bruchzone<sup>193</sup>

$$Q(R) = \pi \cdot R \cdot h(R) \cdot v(R) \quad \text{3-53}^{193}$$

mit

- $Q(R)$  Durchfluss bei Radius  $R$
- $R$  Radius der Bruchzone
- $h(R)$  Wassertiefe bei Radius  $R$
- $v(R)$  Fließgeschwindigkeit bei Radius  $R$

<sup>191</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.202-203

<sup>192</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.203

<sup>193</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.204

Wird nun angenommen, dass der Durchfluss aus dem Bruch konstant bleibt und auch hinter dem Bruch kein Wasser gestaut, also gespeichert wird, dann kann der Radius an dem die oben angeführten Grenzen überschritten werden wie folgt angegeben werden:

$$Q_{bruch} = Q(R) \quad \rightarrow \quad R_C = \frac{Q_{bruch}}{\pi \cdot h v_C} = C_C \cdot Q_{bruch} \quad 3-54^{194}$$

mit

- $Q_{bruch}$  Durchfluss aus der Bruchstelle
- $R_C$  Radius bei dem die Grenze  $h v_C = 7 \text{ m}^2/\text{s}$  überschritten wird
- $h v_C$  Produkt aus Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit
- $C_C$  Konstante ( $1/(\pi \cdot h v_C) = 0,045 \text{ s/m}^2$ )

Diese einfache analytische Gleichung (3-54) wurde mit genaueren hydraulischen Simulationen verglichen und zeigte eine sehr gute Übereinstimmung (siehe Abb. 3.16). Die geringen Abweichungen zwischen dem Modell und der analytischen Abschätzung sind durch die vereinfachten Annahmen, die getroffen wurden, zu erklären.

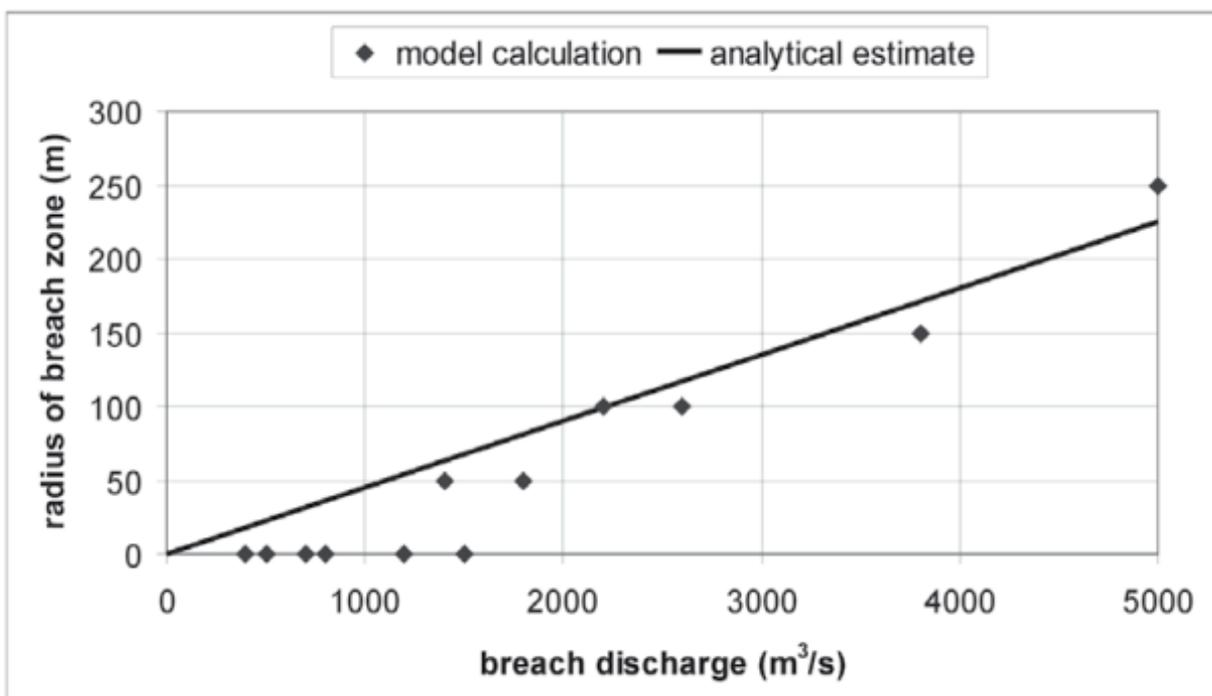


Abb. 3.16: Vergleich Formel 3-54 mit hydraulischen Simulationen<sup>195</sup>

<sup>194</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.204

<sup>195</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.205

**ZONE MIT SCHNELLEM WASSERANSTIEG**

Personen, welche sich in den unteren Stockwerken von Gebäuden befinden, können von einem schnellen Wasseranstieg überrascht werden. Es bleibt dann nur mehr wenig Zeit zur Verfügung, um in höhere Stockwerke zu gelangen. Ist ein schneller Wasseranstieg mit hohen Wassertiefen verbunden, sind auch Personen in höheren Stockwerken betroffen und werden im Gebäude eingeschlossen. Des Weiteren zeigen historische Ereignisse, dass in dieser Zone sehr oft eine große Zahl an Gebäuden einstürzt.<sup>196</sup>

**BEZIEHUNG ZWISCHEN WASSERTIEFE UND OPFERRATE**

Aus der Datengrundlage konnte Jonkman zwei Näherungen ableiten, um die Wassertiefe mit der Opferrate in Beziehung zu setzen. Dabei handelt es sich um eine log-Normalverteilungs-Trendlinie und eine Exponential-Trendlinie. In Diagramm 3.16 sind die beiden Trendlinien dargestellt. Es wurden dabei historische Daten von 3 verschiedenen Ereignissen verwendet, welche wiederum in 13 Gebiete unterteilt wurden:

- Niederlande 1953 – 12 Gebiete
- Großbritannien 1953 – 1 Gebiet
- Japan 1959 – 2 Gebiete

Es handelt sich also um 15 Gebiete mit unterschiedlichen Daten. Die hergeleiteten Funktionen sehen wie folgt aus:

- log-Normalverteilung:

$$Pr = a + b \cdot \ln(h) \quad 3-55^{197}$$

mit

$Pr$  Probitmodell

$$a = -0,21$$

$$b = 3,57$$

$$F_D(h) = \Phi_N \left( \frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right) \quad 3-56^{197}$$

mit

$$\mu_N = 1,46 \quad \text{Mittelwert}$$

$$\sigma_N = 0,28 \quad \text{Standardabweichung}$$

wenn

$$(h \geq 2,1 \text{ m} \text{ und } w \geq 0,5 \text{ m/h}) \text{ und } (hv < 7 \text{ m}^2/\text{s} \text{ oder } v < 2 \text{ m/s})$$

<sup>196</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.205

<sup>197</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.206

- Exponentielle Beziehung:

$$F_D(h) = e^{\frac{h-A}{B}} \quad \text{für } 0 \leq h \leq A$$

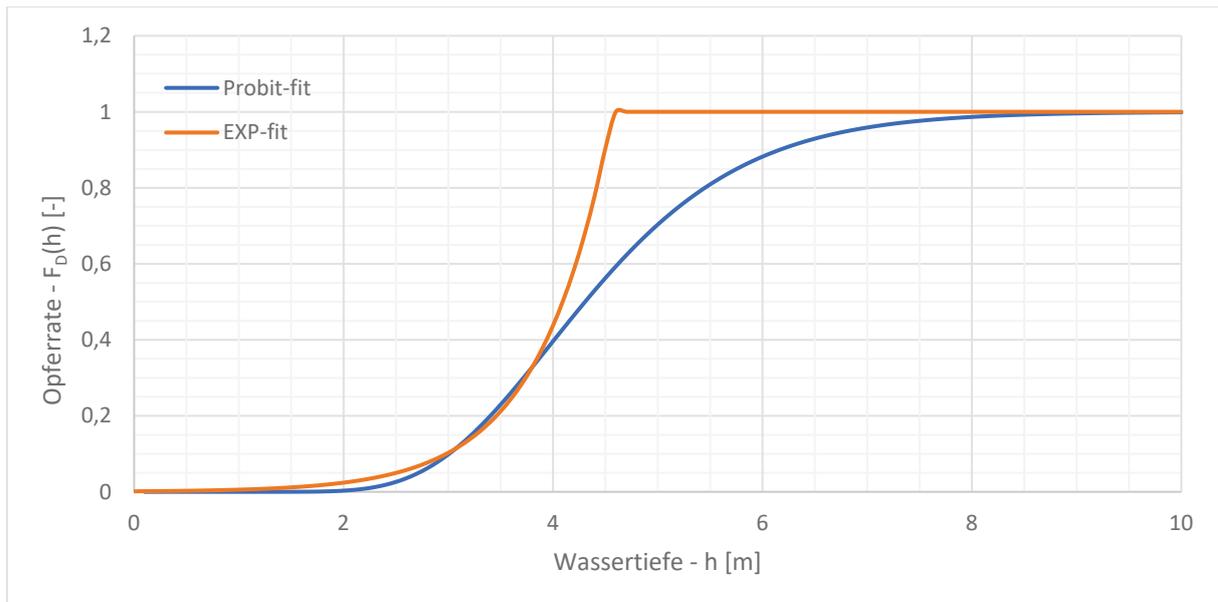
$$F_D(h) = 1 \quad \text{für } h > A$$

3-57<sup>198</sup>

mit

$$A = 4,57$$

$$B = 0,69$$



**Diagramm 3.16: Vergleich LOG-Normalverteilung mit exponentieller Verteilung**

Wie bereits erwähnt, spiegeln beide Funktionen (3-56 und 3-57) die historischen Daten sehr gut wieder. Allerdings fehlen Daten für die Bereiche mit hohen Opferraten. Wie in Diagramm 3.16 zu erkennen ist, erreicht die Exponentialfunktion schneller eine Opferrate von 1, wohingegen sich die log-Normalverteilungsfunktion asymptotisch an eine Opferrate von 1 annähert. Weiters ist festzustellen, dass die Exponentialfunktion bei Wassertiefen von 0 m eine gewisse (wenn auch niedrige) Opferrate berechnet wird.

Abb. 3.17 zeigt die log-Normalverteilung mit ihren 2,5 % und 97,5 % Konfidenzintervallen. Auffällig ist dabei, dass für hohe Wassertiefen die Linien der Konfidenzintervalle stärker vom Mittelwert abweichen. Dies ist dadurch begründbar, dass keine Daten für hohe Wassertiefen vorhanden waren.

<sup>198</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.207

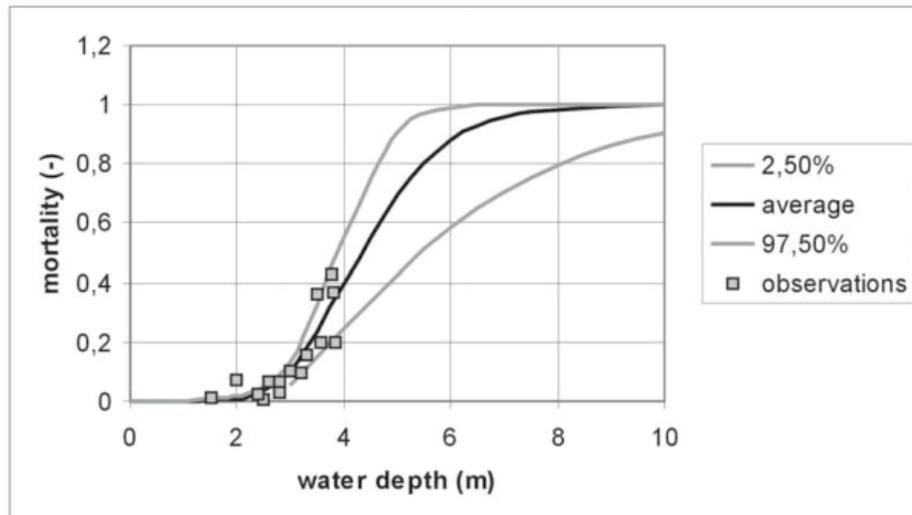


Abb. 3.17: 2,5 % und 97,5 % Konfidenzintervall der Opferratenfunktion<sup>199</sup>

Folgende drei Phasen können innerhalb der Opferratenfunktion unterschieden werden (siehe auch Abb. 3.18):<sup>200</sup>

- **Phase 1 – 0 bis 2 m:**

Bei geringen Wassertiefen können Menschen, wenn auch beeinträchtigt, gehen und stehen. Sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten wären notwendig, um für einen Menschen gefährlich zu werden. Personen können aber noch in Gebäude flüchten, wo sie sicher sind.

- **Phase 2 – 2 bis 5 m:**

Ab einer Wassertiefe von etwa 2 m befindet sich der Kopf unter Wasser und bei Gebäuden steht mehr oder weniger das gesamte erste Stockwerk unter Wasser. Steigt das Wasser nun noch weiter an, werden auch Personen im zweiten Stock des Gebäudes gefährdet. Auch Personen die in Phase 1 einen sicheren Unterschlupf gefunden haben befinden sich nun wieder in Gefahr. Bei 5 m Wassertiefe stehen vereinzelt komplette Häuser unter Wasser. Die Opferrate steigt in dieser Phase sehr stark an.

- **Phase 3 – > 5 m**

Überschreitet das Wasser nun diese Grenze überschreitet es die Dachgrenze der meisten Häuser, welche in der Regel bei 5 bis 7 m liegt. Die Opferrate nähert sich nun asymptotisch 100 % an.

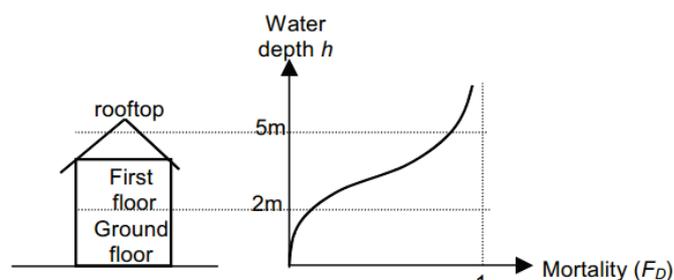


Abb. 3.18: Opferratenfunktion über Gebäudehöhe<sup>200</sup>

<sup>199</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.207

<sup>200</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.208

### BEZIEHUNG ZWISCHEN WASSERANSTIEG UND OPFERRATE

Jonkman bezieht sich bei dieser Beziehung auf die Arbeit von Waarts, der aus den Daten der Katastrophe von 1953 in den Niederlanden eine Grenze für die Wasseranstiegsrate ermittelte. Diese Grenze liegt laut Waarts bei 0,5 m/h. Jonkman gibt allerdings zu bedenken, dass eine Grenze in einem Bereich zwischen 0,5 und 4 m/h definiert hätte werden können. Weiter gibt er an, dass weitere Daten zu diesem Thema gesammelt werden sollen, um den Zusammenhang zwischen Wasseranstieg und Opferrate besser eruieren zu können. Abb. 3.19 zeigt die gesammelten Daten von Waarts. Ein möglicher Zusammenhang ist zu erkennen, allerdings reichen die Daten nicht aus, um ihn genau definieren zu können.<sup>201</sup>

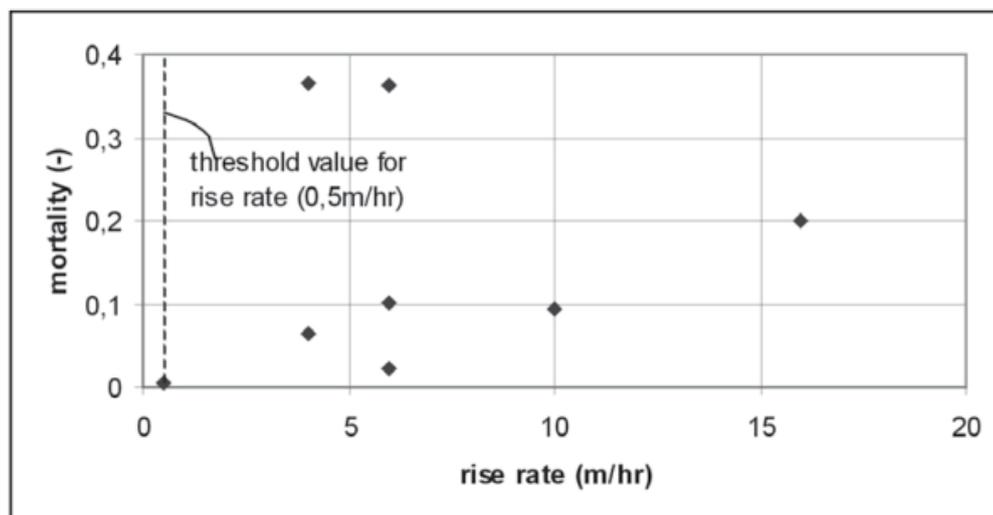


Abb. 3.19 Grenze der Wasseranstiegsrate<sup>202</sup>

Zusammenfassend ist also zu sagen, dass die Grenze dieser Zone über die Wasseranstiegsrate definiert wird. Die Grenze dabei ist:

$$w \geq 0,5 \text{ m/h}$$

3-58

### EINFLUSS VON GEBÄUDEEINSTÜRZEN AUF DIE OPFERRATE

Gebäude bieten Schutz vor Flutwellen, wenn sie diese auch mehr oder weniger unbeschadet überstehen. Historische Daten zeigen, dass einstürzende Gebäude einen großen Einfluss auf die Opferrate in Überschwemmungsgebieten haben. Besonders Gebäude aus Holz, temporäre und schwache Strukturen (z.B. Zelte) bieten oftmals keinen ausreichenden Schutz und führen zu höheren Opferraten.

Zu berücksichtigen ist nun, dass Gebäude zur Zeit der historischen Daten deutlich schlechtere Standards aufwiesen und somit einsturzgefährdeter waren. Für die große Sturmflut von 1953 in den Niederlanden wurde der Anteil der eingestürzten Gebäude mit der Opferrate gegenübergestellt.

<sup>201</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.205

<sup>202</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.206

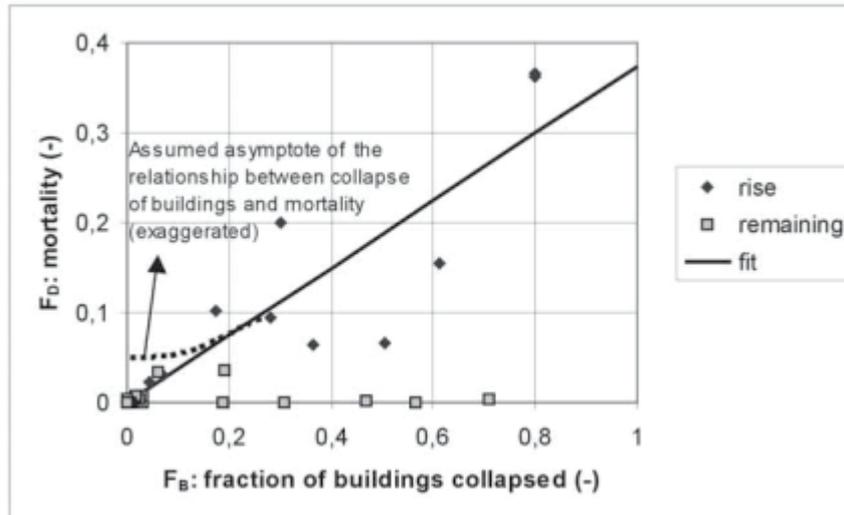


Abb. 3.20: Gegenüberstellung der eingestürzten Gebäude und der Opferrate aus historischen Ereignissen<sup>203</sup>

Gerade in der Zone mit schnellem Wasseranstieg wirkt sich dieser Zusammenhang sehr stark aus und kann mit

$$F_D = 0,37 \cdot F_B \tag{3-59}^{203}$$

abgeschätzt werden. Gebäude stürzen dabei in erster Linie durch den Druckunterschied zwischen dem inneren des Hauses und dem schnell ansteigenden Wasserspiegel außerhalb (Das Wasser steigt im Inneren des Gebäudes langsamer an als außen). Weiters ist zu Abb. 3.20 zu sagen, dass hier angenommen wird, dass wenn kein Gebäude einstürzt ( $F_B = 0$ ) auch keine Menschen ums Leben kommen ( $F_D = 0$ ). Dabei handelt es sich um eine sehr starke Vereinfachung, da sich Menschen nicht nur in den Gebäuden aufhalten.

Betrachtet man nun die Qualität der Häuser im Jahr 1953 in den Niederlanden, stellt man fest, dass es sich überwiegend um Häuser von Arbeitern mit einer geringen Ausführungsqualität handelt. Heutige Gebäude weisen einen deutlich höheren Standard auf und es kann festgestellt werden, dass bei den heutigen Gebäuden ungefähr 57 % weniger Einstürze passieren würden. Berücksichtigt man diesen Faktor ergibt sich eine Opferrate von:<sup>203</sup>

$$F_D(h) = \Phi_N \left( \frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right) \tag{3-60}^{204}$$

mit

- $\mu_N = 1,68$  Mittelwert
- $\sigma_N = 0,37$  Standardabweichung

<sup>203</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.213-214  
<sup>204</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.214

**ÜBRIGE ZONE**

Diese Zone wird definiert, um die Opferrate außerhalb der Bruchzone und der Zone mit schnellem Wasseranstieg anzugeben. Für diese Zone gilt die Grenze aus Gleichung 3-58.

In dieser Zone ist es aufgrund des langsameren Wasseranstiegs einfacher einen sicheren Unterschlupf zu finden und die Opfer dürften unter jenen Personen sein, die keinen sicheren Unterschlupf finden.

Für diese Zone steht mit 93 Gebieten die größte Datenmenge zur Verfügung. Aus diesen konnte Jonkman zwei Näherungen ableiten, welche allerdings die Daten der historischen Ereignisse nicht exakt widerspiegeln können. Dies ist auch an der starken Abweichung der Konfidenzintervalle erkennbar. Wiederrum handelt es sich um eine log-Normalverteilungs-Trendlinie und eine Exponential-Trendlinie. In Diagramm 3.17 sind die beiden Trendlinien dargestellt. Die Opferraten in der übrigen Zone lassen sich wie folgt ermitteln.<sup>205</sup>

- log-Normalverteilung:

$$F_D(h) = \Phi_N\left(\frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N}\right) \quad \text{3-61}^{206}$$

mit

$$\begin{array}{ll} \mu_N = 7,60 & \text{Mittelwert} \\ \sigma_N = 2,75 & \text{Standardabweichung} \end{array}$$

wenn

$$\left(w < 0,5 \frac{m}{h} \text{ oder } \left(w \geq 0,5 \frac{m}{h} \text{ und } h < 2,1 \text{ m}\right)\right) \text{ und } (hv < 7 \text{ m}^2/\text{s} \text{ oder } v < 2 \text{ m/s})$$

- Exponentielle Beziehung

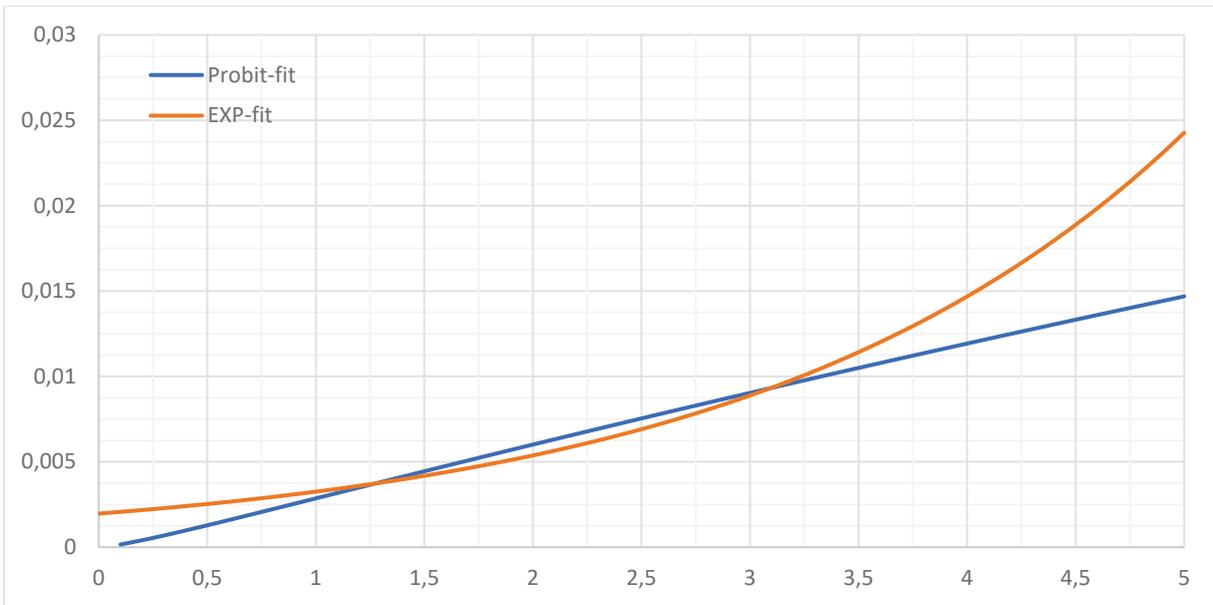
$$\begin{array}{ll} F_D(h) = e^{-\frac{h-A}{B}} & \text{für } 0 \leq h \leq A \\ F_D(h) = 1 & \text{für } h > A \end{array} \quad \text{3-62}^{206}$$

mit

$$\begin{array}{l} A = 12,40 \\ B = 1,99 \end{array}$$

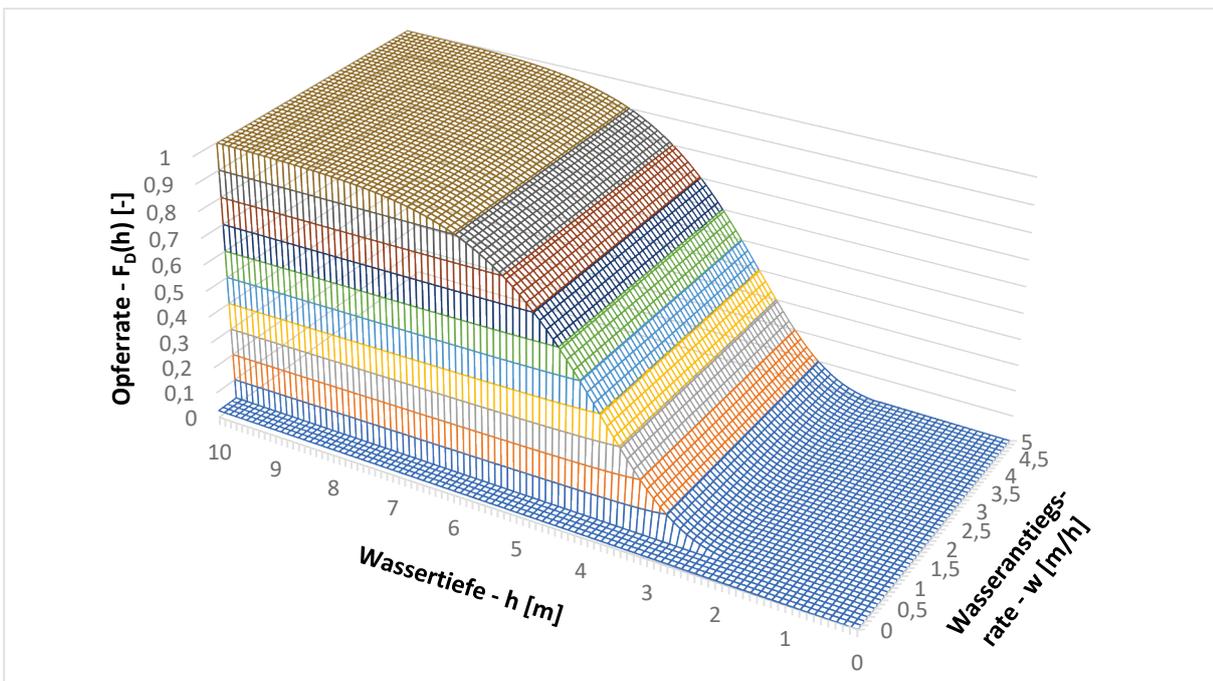
<sup>205</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.208-209

<sup>206</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.209



**Diagramm 3.17: Vergleich LOG-Normalverteilung mit exponentieller Verteilung**

Wie in Diagramm 3.18 zu erkennen ist, steigt die Opferrate sprunghaft an sobald die Grenze der Wasseranstiegsrate von 0,5 m/h überschritten wird. Dies liegt daran, dass für die Bestimmung dieser Grenze eine unzureichende Datengrundlage vorhanden ist. Jonkman merkt in seiner Arbeit an, dass bei einer besseren Datenlage für den möglichen Zusammenhang zwischen Wasseranstiegsrate und Opferrate auch keine Unterteilung in eine Zone mit schnellem Wasseranstieg und eine übrige Zone mehr nötig wäre. Die Opferraten würden sich folglich mit nur zwei Gleichungen bestimmen lassen.<sup>207</sup>



**Diagramm 3.18: Darstellung Opferrate nach Jonkman bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s ohne Berücksichtigung besserer Gebäude**

<sup>207</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.215

**BERECHNUNG DER OPFERRATE VON NEW ORLEANS (HURRICANE KATERINA 2005)**

Jonkman analysierte mit seiner entwickelten Methode zur Abschätzung der Opferrate auch das Ereignis von 2005 in New Orleans. Er kam zu dem Ergebnis, dass auch hier eine Einteilung in Zonen sinnvoll ist. Allerdings ist hier der Zusammenhang der zwischen der Wasseranstiegsrate und der Opferrate nicht so stark ausgeprägt bzw. nicht vorhanden. Aus diesem Grund wird die Opferrate gerade in der Zone mit schnellem Wasseranstieg um das Dreifache überschätzt. In Summe berechnete Jonkman etwa doppelt so viele Opfer (siehe Tabelle 3.3.5).

**Tabelle 3.3.5 Vergleich beobachtete Opfer und berechnete<sup>208</sup>**

Gebiet	EXP	Beobachtete Opferzahl	Berechnete Anzahl an Opfern mit der Methode nach Jonkman			
			Gesamt	Bruchzone	Zone mit schnellem Wasseranstieg	Übrige Zone
Orleans	25.590	260	268	10	143	115
St. Bernard	8.540	190	651	131	517	3
New Orleans East	9.620	68	83	0	0	83
<b>Gesamtes Überflutungsgebiet</b>	43.750	518	1002			

Da ein Zusammenhang zwischen der Wasseranstiegsrate und der Opferrate in New Orleans nicht gegeben war, entwickelte Jonkman eine weitere Methode, welche sich ausschließlich auf den Daten von New Orleans stützt. Dabei wird das Überflutungsgebiet in nur zwei Zonen aufgeteilt (siehe Abb. 3.21) und die Grenze der Bruchzone herabgesetzt. Folglich konnte auch die Opferrate in der Bruchzone herabgesetzt werden. Folgende Opferraten lassen sich dabei ansetzen:

- **Bruchzone**

$$F_D = 0,053 \quad \text{wenn} \quad hv > 5 \text{ m}^2/s \quad \text{3-63}^{209}$$

- **Übrige Zone**

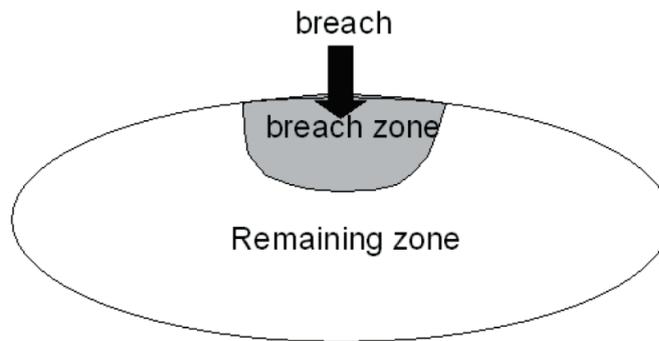
$$F_D(h) = \Phi_N \left( \frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right) \quad \text{3-64}^{209}$$

mit

$$\begin{array}{ll} \mu_N = 5,20 & \text{Mittelwert} \\ \sigma_N = 2,00 & \text{Standardabweichung} \end{array}$$

<sup>208</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.240

<sup>209</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.248



**Abb. 3.21 Zonenaufteilung von New Orleans<sup>210</sup>**

Der Unterschied in der Grenze der Bruchzone könnte durch die Tatsache erklärt werden, dass die Grenze der ursprünglichen Herleitung ( $hv > 7 \text{ m}^2/\text{s}$ ) für Gebäude aus Mauerwerk hergeleitet wurde, wohingegen in New Orleans die meisten Gebäude aus Holz hergestellt wurden. Da Gebäude aus Holz einen geringeren Widerstand gegen eine Flutwelle aufweisen, haben diese schon bei einem geringeren Wassertiefe-Fließgeschwindigkeits-Verhältnis versagt. Da allerdings auch die Opferrate in der Bruchzone von New Orleans nicht einmal einen Wert von 0,1 überschreitet, ist vielleicht die ursprünglich angenommene Opferrate von 1 zu konservativ angesetzt.<sup>210</sup>

---

<sup>210</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, S.250

## 3.4 RESCDAM LOL METHODE

Bei dieser Methode handelt es sich im Grunde um eine Erweiterung bzw. eine Überarbeitung der Methode von Graham, welche bereits in Kapitel 3.2.3 beschrieben wurde. Erarbeitet wurde diese Methode von Peter Reiter. Es erfolgt eine Einteilung des gesamten Überschwemmungsgebiets in Flutschwerezonen. Das heißt, in Zonen mit gleicher Schwere der Flut. Die Schwere der Flut setzt sich dabei aus der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit zusammen. Auch der von Graham verwendete Parameter *DV* wird zur Abschätzung der Schwere der Flut verwendet. Zusätzlich zu der Zoneneinteilung werden drei weitere Faktoren zu Grahams Methode hinzugefügt:<sup>211</sup>

- **SEV – Personen in Gefahr in verschiedenen Flutschwerezonen**  
Dabei wird der Parameter *PAR* in mehrere Gruppen aufgeteilt, welche von der Schwere der Flut abhängen.
- **VUL – Verwundbarkeit von unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen**  
Dieser Faktor soll Unterschiede zwischen unterschiedlichen Altersgruppen (Kinder, Erwachsene, ältere Personen) hervorheben.
- **LOC – Lebensbedingungen**  
Unterschieden wird hierbei zwischen der Höhe von Gebäuden (1-geschoßig, mehrgeschoßig)

### 3.4.1 EIGENSCHAFTEN DER RESCDAM LOL METHODE

#### SCHRITT 1: EINTEILUNG DES GEBIETS

Das Überschwemmungsgebiet wird in eine praktisch bearbeitbare Anzahl von Sub-Gebieten aufgeteilt.<sup>212</sup>

#### SCHRITT 2: ERSTELLEN EINES ZEITSZENARIOS

Ein Zeitszenario mit unterschiedlich großen Komponenten soll entwickelt werden. Dies ermöglicht eine Abschätzung der Fluktuationen der Bevölkerung im Gefahrengebiet (*PAR*). Damit kann auch ein Zyklus eines Referenzjahres erstellt werden.

Berücksichtigt wird an dieser Stelle:<sup>212</sup>

- Jahreszeitlicher Veränderungen der Wasserstände des Reservoirs, des Durchflusses in Gerinnen und der Bevölkerung im Gefahrengebiet (Winter, Sommer, Hochwassersaison)
- Wöchentliche Fluktuationen der Bevölkerung (5 Werktag und 2 Tage Wochenende)
- Tägliche Fluktuationen der Bevölkerung (Tag, Nacht)

<sup>211</sup> Reiter, P. (2001): RESCDAM: Loss of life caused by dam failure, the RESCDAM LOL Method and its application to Kyyrkösjärvi dam in Seinäjoki, S.2

<sup>212</sup> Reiter, P. (2001): RESCDAM: Loss of life caused by dam failure, the RESCDAM LOL Method and its application to Kyyrkösjärvi dam in Seinäjoki, S.3

**SCHRITT 3: EINFLÜSSE UND EIGENSCHAFTEN DER BEVÖLKERUNG IM GEFAHRENGEBIET (PAR)**

Mit Hilfe von GIS-Systemen können die Einflüsse auf die Bevölkerung im Gefahrengebiet (*PAR*) und die Eigenschaften der Bevölkerung definiert werden:<sup>213</sup>

- **Personen in Gefahr in unterschiedlichen Flutschwerezonen – *SEV*:**  
Die Einteilung des Faktors *SEV* erfolgt nach Tabelle 3.4.1.

Tabelle 3.4.1: Einteilung von *SEV* nach der RESCDAM LOL Methode<sup>213</sup>

Flutschwerezone	Eigenschaften	DAMG (DV) – Flutschwere
<b>SEV<sub>0</sub></b>	Nicht im Überschwemmungsgebiet	0
<b>SEV<sub>1</sub></b>	Leichte Schwere Es wird erwartet, dass Personen überleben	0,0 – 0,5
<b>SEV<sub>2</sub></b>	Starke Schwere Personen in Gefahr, Autos schwimmen	0,5 – 1,0
<b>SEV<sub>3</sub></b>	Niedrige Schwere für Gebäude Hohes Risiko für Personen draußen	1,0 – 3,0
<b>SEV<sub>4</sub></b>	Mittlere Schwere für Gebäude (Schäden)	3,0 – 7,0
<b>SEV<sub>5</sub></b>	Starke Schwere für Gebäude	> 7,0

- **Lebensbedingungen der Bevölkerung – *LOC***  
Dabei soll eine Einteilung der Gebäude nach der Anzahl ihrer Stockwerke erfolgen. Der Faktor für *LOC* soll dabei zwischen 0,8 und 2,5 liegen, wobei eine hohe Faktoren für niedrige Gebäude anzuwenden sind. Genaue Einteilungen werden in dieser Methode nicht genannt, da die Faktoren für jedes Gebiet individuell ermittelt werden sollen.
- **Verwundbarkeit von unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen – *VUL***  
Dabei soll mit Hilfe des Bevölkerungsregisters eine Alterseinteilung der Bevölkerung im Gefahrengebiet (*PAR*) erfolgen. Der Faktor für *VUL* soll dabei zwischen 1,0 und 3,0 liegen. Dabei sollen gefährdetere Altersgruppen (Kinder und ältere Personen) mit hohen Faktoren berücksichtigt werden und weniger gefährdete mit niedrigen. Es wird dabei keine genaue Einteilung dieser Altersgruppen angegeben, da der Wert für jedes Gebiet individuell ermittelt werden soll.

**SCHRITT 4: SCHADEN-GEFAHR FAKTOREN (DAMAGE-DANGER FACTORS)**

Für jede Gruppe (*SEV*, *LOC*, *VUL*) wird ein Schadens-Gefahr Faktor vergeben und aus dem Produkt der drei Faktoren ein Einfluss Faktor (*IMPACT* Factor) erstellt. Ein Faktor von 0,5 bedeutet etwa, dass nur die Hälfte des durchschnittlichen Einflusses ein Faktor von 2, dass der doppelte durchschnittliche Einfluss wirksam wird. Der durchschnittliche Einfluss wird dabei mit der Methode von Graham (DSO-99-06) ermittelt. Die unterschiedlichen Faktoren sollen

<sup>213</sup> Reiter, P. (2001): RESCDAM: Loss of life caused by dam failure, the RESCDAM LOL Method and its application to Kyrkösjärvi dam in Seinäjoki, S.3

dabei mit einer Sensitivitätsanalyse bestimmt werden. Typische Faktoren sind in Tabelle 3.4.2 dargestellt.<sup>214</sup>

**Tabelle 3.4.2: Typische Werte für Faktoren der RESCDAM LOL Methode<sup>214</sup>**

Faktor	Typische Werte
SEV <sub>fact</sub>	0,2 – 2,0
LOC <sub>fact</sub>	0,8 – 2,5
VUL <sub>fact</sub>	1,0 – 3,0
IMPACT	0,15 – 3,2 (üblicher Maximalwert 1,5)

### **SCHRITT 5: AUFTEILUNG DER BEVÖLKERUNG IN DER GEFAHRENZONE (PAR)**

Eine Eiteilung erfolgt danach, ob es sich um Personen handelt, welche sich dauerhaft in dem Gebiet aufhalten ( $PAR_{REGISTERED}$ ) oder um Personen, die das Gebiet regelmäßig besuchen ( $PAR_{OUTSIDERS}$ ). Diese Einteilung erfolgt, um unterschiedliche Charakteristika der Gruppen berücksichtigen zu können.<sup>214</sup>

### **SCHRITT 6: ÜBERARBEITUNG DER EMPFOHLENE OPFERRATEN VON GRAHAM**

Tabelle 7 aus der DSO-99-06 (siehe Tabelle 3.2.9) wird dabei modifiziert und in drei Abschnitte eingeteilt (siehe Tabelle 3.4.3).

**Tabelle 3.4.3: Werte für  $FAT_{BASE}$  und  $CORRFAT$ <sup>214</sup>**

Abschnitt	Eigenschaften	Durchschnitt	Bereich
<b>Keine Warnung</b>	Resultiert in der Basisopferrate $FAT_{BASE}$	0,15	0,03 – 0,35
<b>Vages Verständnis der Flutschwere</b>	Resultiert in Risiko-Reduktionsfaktoren unter Berücksichtigung unterschiedlicher Effizienzen der Warnung $CORRFAT_{WARN}$		0,03 – 0,9
<b>Präzises Verständnis der Flutschwere</b>	Resultiert in Risiko-Reduktionsfaktor unter Berücksichtigung unterschiedlicher Effizienzen der Warnung in Verbindung mit Rettungsanordnungen $CORRFAT_{RESCUE}$		0,02 – 0,4

Die Basisopferrate entspricht dabei dem Wert für mittlere Flutschwere ohne Warnung.

### **SCHRITT 7: ERSTELLEN EINER 0 VARIANTE (LOL<sub>CASE 0</sub>)**

Für die 0 Variante wird angenommen, dass im gesamten Gebiet keine Warnung ausgesprochen wird. Diese Berechnung wird für alle Zeitszenarios (siehe Schritt 2), alle Dammversagensszenarien und für alle Sub-Gebiete erstellt.<sup>214</sup>

### **SCHRITT 8: ERSTELLEN VON WARNUNGS-EFFIZIENZ-ZONEN**

Mit Hilfe von Tabelle2 der DSO-99-06 (siehe Tabelle 3.2.7) werden anhand von unterschiedlichen Zeitschritten der simulierten Überschwemmungskarten unterschiedliche Warnungs-Effizienz-Szenarien erstellt. Das Ergebnis ist eine Definition von unterschiedlichen Warnungs-Effizienz-Zonen. Hier wird nun abgeschätzt, wann Warnungen ausgesprochen werden und wie viel Zeit noch zur Verfügung steht. Daraus können Zonen mit

<sup>214</sup> Reiter, P. (2001): RESCDAM: Loss of life caused by dam failure, the RESCDAM LOL Method and its application to Kyrkösjärvi dam in Seinäjoki, S.4

unterschiedlichen Effizienzen der Warnung abgeleitet werden. Diese ermittelten Zonen können wiederum mit jenen von Graham verglichen werden.

- Geringe Warnungseffizienz (no Warning)
- Mittlere Warnungseffizienz (some Warning)
- Ausreichende Warnungseffizienz (adequate Warning)

Anhand der Warnungs-Effizienz-Zonen und den Sub-Gebieten werden die Prozentsätze der unterschiedlichen Warnungseffizienzen in jedem Sub-Gebiet evaluiert und tabellarisch aufgelistet.

Die Warnungseffizienz basiert auf einer Risikoreduktion für die Opfer und wird mit dem Faktor  $CORRFAT_{WARN}$  berücksichtigt. Dieser Faktor ist dabei für jedes Sub-Gebiet zu berechnen und ergibt sich aus den Prozentsätzen der Warnungs-Effizienz-Zonen.<sup>215</sup>

### **SCHRITT 9: BERECHNUNG DER OPFERRATE**

Die Berechnung erfolgt dabei für alle Sub-Gebiete, sowie für alle unterschiedlichen Szenarios der Warnung und alle Versagensszenarios. Die Summe aus alle Sub-Gebieten entspricht dabei der gesamten Opferzahl.<sup>215</sup>

$$LOL = PAR \cdot FAT_{BASE} \cdot IMPACT \cdot CORRFAT$$

3-65<sup>215</sup>

---

<sup>215</sup> Reiter, P. (2001): RESCDAM: Loss of life caused by dam failure, the RESCDAM LOL Method and its application to Kyyrkösjärvi dam in Seinäjoki, S.4

## 3.5 EHSAN METHODE

Bei dieser Methode handelt es sich ebenfalls um eine Erweiterung der Methode von Graham bzw. der Methode von Reiter (RESCDAM LOL Methode) die 2009 von Eshan erarbeitet wurde. Nach der Auffassung von Eshan geht die Erweiterung von Reiter nicht weit genug bzw. beschreibt einige der Einflussparameter nicht ausreichend genau. Aus diesem Grund erweiterte Eshan diese Methode indem er weitere Parameter hinzufügte und die Bestehenden spezifizierte.

$$LOL_i = PAR_i \cdot FAT_{BASE} \cdot F_{sv} \cdot F_{age} \cdot F_{mt} \cdot F_{st} \cdot F_h \cdot F_{war} \cdot F_{ev} \quad 3-66^{216}$$

mit

$LOL_i$	Loss of Life in einem bestimmten Gebiet „i“ stromabwärts des Damms
$PAR_i$	Population at Risk in einem bestimmten Gebiet „i“ stromabwärts des Damms
$FAT_{BASE}$	Basisopferrate
$F_{sv}$	Faktor für die Schwere der Flut
$F_{age}$	Alters-Risikofaktor
$F_{mt}$	Material-Risikofaktor
$F_{st}$	Stockwerk-Risikofaktor
$F_h$	Gesundheits-Risikofaktor
$F_{war}$	Warnungsfaktor
$F_{ev}$	Faktor zur Berücksichtigung der Einfachheit der Evakuierung

### 3.5.1 PARAMETER

Im folgenden Kapitel werden die Faktoren aus der Berechnung von Ehsan genauer beschrieben.

#### 3.5.1.1 BASISOPFERRATE - $FAT_{BASE}$

Die Basisopferrate ( $FAT_{BASE}$ ) wurde wie im Modell von Reiter aus Tabelle 7 der DSO-99-06 (siehe Tabelle 3.2.7) mit 0,15 für das Worst-Case-Szenario für eine mittlere Schwere der Flut. Dabei betrachtete Eshan auch unterschiedliche Definitionen der Schwere der Flut, welche in Tabelle 3.5.1 gelistet sind. Das hier beschriebene Worst-Case-Szenario bezieht sich dabei auf Definition 2 in Tabelle 3.5.1.

<sup>216</sup> Eshan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.88

**Tabelle 3.5.1: Definitionen der Schwere der Flut<sup>217</sup>**

	Definition 1	Definition 2
<b>Hohe Schwere (High Severity)</b>	Totalschaden oder großer Schaden an Gebäuden	Verheerende Zerstörung des Gebiets und nur geringe oder gar keine Anzeichen von früheren Menschen und Siedlungen bleiben zurück (z.B. Vajont-Staumauer)
<b>Mittlere Schwere (Medium Severity)</b>	Teilweiser oder moderater Schaden an Bauwerken, geringer Schaden an den Hauptelementen von Gebäuden	Zerstörung von Gebäuden, aber es bleiben Bäume und Ruinen von Häusern, die für Schutz sorgen
<b>Geringe Schwere (Low Severity)</b>	Überschwemmung und kein Schaden an Bauwerken	Gebäude bleiben in Takt

### 3.5.1.2 Faktor für die Schwere der Flut - $F_{sv}$

Für die beiden Definitionen über die Schwere der Flut (siehe Tabelle 3.5.1) sind unterschiedliche Kriterien für die Einteilung in die jeweilige Gruppe vorhanden:

- **Definition 1**

**Tabelle 3.5.2: Kategorien der Schwere der Flut nach Definition 1<sup>217</sup>**

Schwere der Flut	Bedingung / Grenze
Hohe Schwere	$vh \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$
Mittlere Schwere	$7 \text{ m}^2/\text{s} > vh > 3 \text{ m}^2/\text{s}$
Geringe Schwere	$vh \leq 3 \text{ m}^2/\text{s}$

- **Definition 2**

Für diese Definition gibt es keine Grenze, ab welcher eine hohe Schwere der Flut anzusetzen ist.

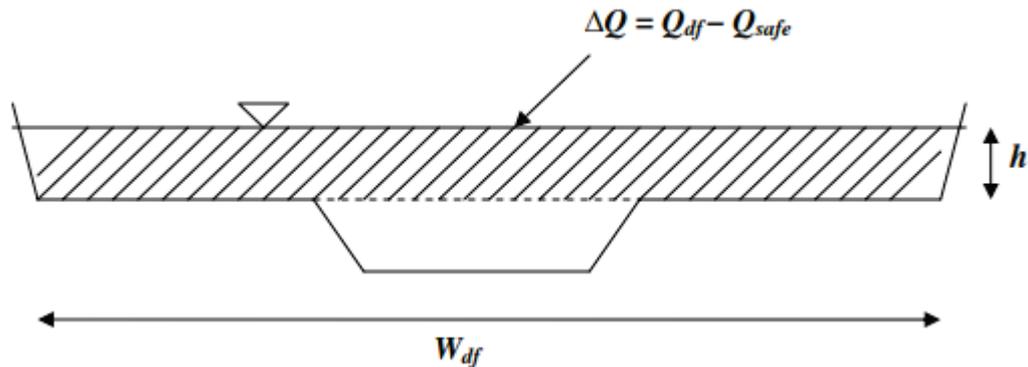
**Tabelle 3.5.3: Kategorien der Schwere der Flut nach Definition 2<sup>218</sup>**

Schwere der Flut	Bedingung / Grenze
Hohe Schwere	Keine Grenze vorhanden
Mittlere Schwere	$DV > 4,6 \text{ m}^2/\text{s}$
Geringe Schwere	$DV \leq 4,6 \text{ m}^2/\text{s}$

Beide Definitionen drücken dem Grunde nach das Gleiche aus und beziehen sich auf das Produkt von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit. Allerdings auf zwei unterschiedliche Arten, weshalb sich die Grenzen und die Definition dieser Kriterien unterscheiden. Vereinfacht kann gesagt werden, dass hohe und mittlere Schwere von Definition 1 mit der mittleren und geringen Schwere von Definition 2 verglichen werden können.

<sup>217</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.65

<sup>218</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.66

Abb. 3.22: Typischer Flussquerschnitt<sup>219</sup>

Vereinfacht kann für einen typischen Flussquerschnitt (siehe Abb. 3.22), unter Berücksichtigung der Kontinuität, eine Beziehung angegeben werden, welche auch der Definition des Parameters  $DV$  entspricht:

$$DV \approx \frac{Q}{W} \quad 3-67$$

Unter der Annahme eines rechteckigen Querschnitts des Flussbetts kann diese Beziehung erweitert werden:

$$Q = v \cdot A \quad \text{und} \quad A = W \cdot h \quad 3-68$$

$$V \approx \frac{v \cdot A}{\frac{A}{h}} = v \cdot h \quad 3-69$$

$$DV \approx vh \quad 3-70$$

Somit ist bewiesen, dass beide Parameter prinzipiell das Gleich ausdrücken. Um beide Kriterien ( $DV$  und  $vh$ ) besser miteinander zu vergleichen zu können, berechnete Ehsan die  $DV$ -Grenzen für Definition 1 ( $vh$ -Grenzen) unter der Annahme, dass hohe und mittlere Schwere von Definition 1 der mittleren und geringen Schwere von Definition 2 entsprechen.

Für die  $DV$ -Grenze von mittlerer zu geringer Schwere wird angenommen, dass das selbe Verhältnis zwischen  $vh$  und  $DV$  gilt, wie bei der Grenze zwischen hoher und mittlerer Schwere. Das Ergebnis dieser Annahme ist in Tabelle 3.5.4 dargestellt.

$$\frac{vh}{DV} = \frac{7}{4,6} = 1,52$$

$$\frac{3}{DV} = 1,52 \quad \rightarrow \quad DV = 1,97 \text{ m}^2/\text{s}$$

3-71<sup>220</sup>

<sup>219</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.72

<sup>220</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.73

**Tabelle 3.5.4: Gegenüberstellung der Grenzwerte von  $vh$  und  $DV$  für die Schwere der Flut nach Definition 1**

Definition 1	$vh$	$DV$
Hohe Schwere	$vh \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$	$DV \geq 4,6 \text{ m}^2/\text{s}$
Mittlere Schwere	$7 \text{ m}^2/\text{s} > vh > 3 \text{ m}^2/\text{s}$	$4,6 \text{ m}^2/\text{s} > DV > 1,97 \text{ m}^2/\text{s}$
Geringe Schwere	$vh \leq 3 \text{ m}^2/\text{s}$	$DV \leq 1,97 \text{ m}^2/\text{s}$

Im nächsten Schritt verbindet Ehsan beide Kriterien, um eine Grenze, welche drei Parameter (Wassertiefe, Durchfluss, Fließgeschwindigkeit) berücksichtigt, zu ermitteln. Dies wird durch eine geometrische Zusammenlegung (Geometric Aggregation) erreicht.

$$GA = vh^{w_1} \cdot DV^{w_2} \tag{3-72}^{221}$$

Anhand eines Berechnungsbeispiels können die Exponenten bestimmt werden.

$$w_1 = 0,65 \quad \text{und} \quad w_2 = 0,35 \tag{3-73}^{222}$$

Dadurch ergeben sich neue Grenzen für die Schwere der Flut (siehe Tabelle 3.5.5).

**Tabelle 3.5.5: Grenzen der Schwere der Flut nach Definition 1 mit Parameter  $GA$**

Schwere der Flut	Bedingung / Grenze
Hohe Schwere	$GA \geq 6,04 \text{ m}^2/\text{s}$
Mittlere Schwere	$6,04 \text{ m}^2/\text{s} > GA > 2,59 \text{ m}^2/\text{s}$
Geringe Schwere	$GA \leq 2,59 \text{ m}^2/\text{s}$

Aus diesen Grenzen können Werte für den Faktor für die Schwere der Flut gefunden werden (siehe Tabelle 3.5.6).

**Tabelle 3.5.6: Werte für  $F_{sv}$** <sup>223</sup>

Schwere der Flut	Wahrscheinlichkeit für Opfer	$F_{sv}$
Hohe Schwere	sehr wahrscheinlich	1,0
Mittlere Schwere	unwahrscheinlich	0,3
Geringe Schwere	sehr unwahrscheinlich	0,1

### 3.5.1.3 ALTERS-RISIKOFAKTOR - $F_{age}$

Drei Altersgruppen wurden definiert, um die Verwundbarkeit von unterschiedlich alten Menschen zu berücksichtigen. Für alle drei Gruppen wurde die Wahrscheinlichkeit, Opfer einer Flutkatastrophe zu werden, angegeben (siehe Tabelle 3.5.7).<sup>223</sup>

**Tabelle 3.5.7: Einteilung der Altersklassen und ihre Wahrscheinlichkeit Opfer einer Flut zu werden**<sup>224</sup>

Altersgruppe	Alter	Stärke der Gruppe	Wahrscheinlichkeit für Opfer	
A	< 10 Jahre ≥ 65 Jahre	Sehr schwach	mehr als wahrscheinlich	1,25
B	10 – 15 Jahre	Normal	wahrscheinlich	1,1
C	15 – 64 Jahre	Stark	unwahrscheinlich	0,8

<sup>221</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.79

<sup>222</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.80

<sup>223</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.88

<sup>224</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.89

Aus dem Prozentsatz der jeweiligen Altersgruppen und der Wahrscheinlichkeit Opfer einer Flut zu werden ergibt sich der Alters-Risikofaktor zu:

$$F_{age} = 1,25 \cdot A\% + 1,1 \cdot B\% + 0,8 \cdot C\% \quad 3-74^{225}$$

Dieser Faktor kann zwischen ländlichen und städtischen Gebieten stark variieren, weshalb die Prozentsätze der unterschiedlichen Altersgruppen als Gewichtungsfaktor verwendet werden kann.

#### 3.5.1.4 MATERIAL-RISIKOFAKTOR - $F_{mt}$

Da sich die Definitionen für die Schwere der Flut auf Gebäude aus massiven Materialien (Beton, Ziegel oder Mauerwerk) beziehen, wurde ein Faktor eingeführt der Häuser aus Materialien mit geringerer Festigkeit berücksichtigten soll (siehe Tabelle 3.5.8).

Tabelle 3.5.8: Werte für  $F_{mt}$  <sup>225</sup>

Gebäudeklasse	Beschreibung	$F_{mt}$
X	normale Gebäude	1,0
Y	schwache Gebäude	1,5

Aus dem Anteil der jeweiligen Gebäudeklasse kann der Material-Risikofaktor berechnet werden:

$$F_{mt} = 1,0 \cdot X\% + 1,5 \cdot Y\% \quad 3-75^{225}$$

Dieser Faktor kann zwischen ländlichen und städtischen Gebieten stark variieren, weshalb die Prozentsätze der unterschiedlichen Gebäudeklassen als Gewichtungsfaktor verwendet werden kann.

#### 3.5.1.5 STOCKWERK-RISIKOFAKTOR - $F_{st}$

Dieser Faktor soll die Möglichkeit von Unterschlüpfen in höheren Bauwerken berücksichtigen. Dabei wird zwischen zwei Fällen unterschieden:

##### 1. In dem Gebiet liegt eine hohe Schwere der Flut vor.

In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass auch Bauwerke mit mehreren Stockwerken keinen Schutz bieten, da auch diese einstürzen.

$$F_{st} = 1 \quad 3-76^{225}$$

<sup>225</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.89

## 2. In dem Gebiet liegt eine mittlere oder geringe Schwere der Flut vor.

In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass Gebäude mit mehreren Stockwerken Schutz bieten.

$$F_{st} = 1 - S\% \quad 3-77^{226}$$

mit

$S$  Anteil der Gebäude mit mehreren Stockwerken

### 3.5.1.6 Gesundheits-Risikofaktor - $F_h$

Dieser Faktor soll Personen, die aus eigener Kraft nicht oder nur schwer flüchten können berücksichtigen. Auch wenn der Anteil dieser beeinträchtigten Personen gering ist, darf das zusätzliche Risiko nicht vernachlässigt werden (siehe Tabelle 3.5.9).

**Tabelle 3.5.9: Definition des Gesundheitszustands und deren Wahrscheinlichkeit Opfer einer Flut zu werden<sup>227</sup>**

Gesundheitszustand	Beschreibung	Wahrscheinlichkeit für Opfer
H	Personen mit durchschnittlicher Gesundheit	1,0
D	Personen mit Beeinträchtigungen	1,25

Aus dem Anteil der jeweiligen Gesundheitszustände kann der Gesundheits-Risikofaktor berechnet werden.

$$F_h = 1,0 \cdot H\% + 1,25 \cdot D\% \quad 3-78^{227}$$

### 3.5.1.7 Warnungsfaktor - $F_{war}$

Für diesen Faktor wurde die Definition der Warnung von Graham übernommen. Auch das Verständnis der Schwere der Flut wird mit diesem Faktor mitberücksichtigt. Anzunehmende Werte für den Warnungsfaktor sind in Tabelle 3.5.10 zu finden.

**Tabelle 3.5.10: Werte für  $F_{war}$ <sup>227</sup>**

Vorwarnungszeit	Verständnis der Schwere der Flut	$F_{war}$
keine	Keine	1,0
Wenig (15 – 60 Minuten)	Vage / Unklar	0,7
Ausreichend (> 60 Minuten)	Präzise / Klar	0,3

<sup>226</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.89

<sup>227</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.90

### 3.5.1.8 FAKTOR ZUR BERÜCKSICHTIGUNG DER EINFACHHEIT DER EVAKUIERUNG - $F_{ev}$

Dieser Faktor ist abhängig von der Warnungseffizienz und den zur Verfügung stehenden Evakuierungseinrichtungen (Gebäude, Personentransport). Es scheint logisch, dass dieser Faktor zwischen ländlichen und städtischen Gebieten variiert, allerdings konnte Ehsan aufgrund von fehlenden Daten keine Differentiation zwischen diesen Gebieten erstellen. Des Weiteren handelt es sich bei seinen Abschätzungen nicht um empirisch ermittelte Werte. Vielmehr handelt es sich um quantitative Werte der Wahrscheinlichkeit das keine Rettung der Personen im Gefahrengebiet ( $PAR$ ) durchgeführt wird. Ehsan weist darauf hin, dass für eine genauere Bestimmung dieses Faktors und einer Unterscheidung zwischen Stadt und Land weitere Studien mit mehr Daten durchgeführt werden müssen. Anzunehmende Werte sind in Tabelle 3.5.11 zu finden.

**Tabelle 3.5.11: Werte für  $F_{ev}$ <sup>228</sup>**

Vorwarnungszeit	Einfachheit der Evakuierung	$F_{ev}$
keine	Schwer	1,0
Wenig (15 – 60 Minuten)	Mittel	0,7
Ausreichend (> 60 Minuten)	Leicht	0,3

<sup>228</sup> Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, Universität Stuttgart, S.91

## 3.6 LIFESIM

LIFESim ist ein Verfahren, welches Opferzahlen auf viel detaillierterer Weise, als die bisher vorgestellten Methoden, abschätzt. Das bedeutet, dass viel mehr Daten als Input benötigt werden, allerdings auch die Ergebnisse vertrauenswürdiger sind. LIFESim berücksichtigt dabei, dass Verhalten von jedem Individuum in einem Gebiet und berücksichtigt Evakuierungen, detaillierte Flutdynamiken und den Verlust von Unterschlüpfen aus Daten von historischen Ereignissen. Dabei ist der Ansatz in Module, welche Datenbanken aus verfügbaren GIS-Daten (Straßennetz, Bevölkerung, Gebäude) enthalten, unterteilt. Dabei handelt es sich um drei wesentliche Module:<sup>229, 230</sup>

- Hydraulische Berechnungen (Dam Break Flood Routing Module)  
Dieses Modul ist nicht Teil von LIFESim, wird aber für eine Opferzahlenermittlung benötigt. Beispiele für solche Programme sind etwa DAMBRK oder HEC-RAS.
- Verlust von Unterschlüpfen (Loss of Shelter Module)
- Warnung und Evakuierung (Warning and Evacuation Module)
- Opferzahlenermittlung (Loss of Life Module)

Wie sich die Module zusammensetzen und was dabei berücksichtigt wird, ist in Abb. 3.23 zu erkennen. Dabei kann LIFESim für zwei unterschiedlichen Modi durchgeführt werden:<sup>229</sup>

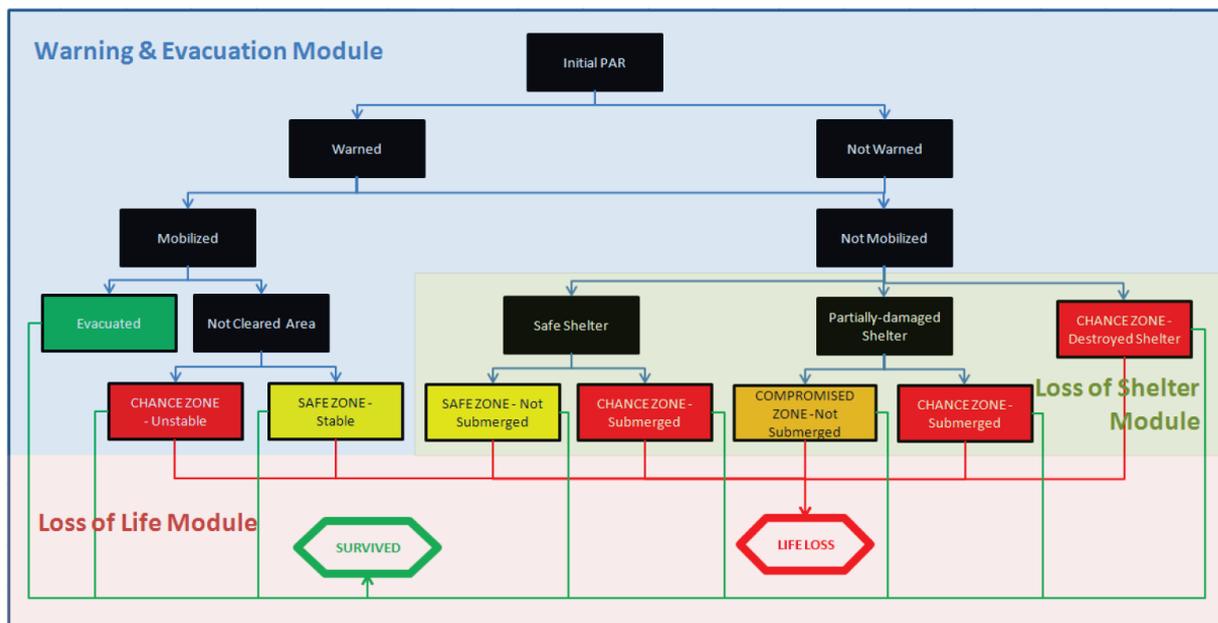
- **Deterministischer Modus**  
In diesem Modus werden die Opferzahlen anhand der mittleren Sterblichkeitsrate jeder Zone ermittelt.<sup>231</sup>
- **Unsicherheits-Modus**  
Dieser Modus verwendet Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Opferzahlenermittlung und anderen Variablen für Warnungs- und Evakuierungseffektivität.

---

<sup>229</sup> Aboelata, M. A.; Bowles, D. S. (2008): LIFESim: A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures, S.1 - 3

<sup>230</sup> Spanish National Committee on Large Dams (12.12.2012): Risk Analysis Applied to Management of Dam Safety: Appendix C – Estimating loss of life, 119-132, *Professional Association of Civil Engineers*, URL: [http://www.spancold.es/archivos/monograph\\_risk\\_analysis.pdf](http://www.spancold.es/archivos/monograph_risk_analysis.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.131

<sup>231</sup> Aboelata, M. A.; Bowles, D. S.; McClelland, D. M. (2003): A Model for Estimating Dam Failure Life Loss, S.7

Abb. 3.23: Schema von LIFESim für LOL-Estimates<sup>232</sup>

### 3.6.1 LOSS-OF-SHELTER MODULE

Dieses Modul berücksichtigt den Einfluss von Flutwellen auf Gebäude. Es schätzt dabei ab, ob Gebäude intakt bleiben, beschädigt werden, einstürzen oder komplett unter Wasser stehen. Dadurch kann auch der Einfluss einer Flutwelle auf Personen in den Gebäuden abgeschätzt werden. Um dies zu bewerkstelligen, greift das Programm auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Opferraten in unterschiedlichen Zonen zurück. Diese Wahrscheinlichkeitsverteilungen wurden von McClelland und Bowles<sup>233</sup> erarbeitet und berücksichtigen dabei unterschiedliche Arten von Gebäuden. Aus diesem Grund sind auch Daten über die Gebäude selbst notwendig, um die Berechnung durchführen zu können. Für die Berechnung selbst, wird dabei in drei Zonen unterschieden (siehe Abb. 3.24), welche durch die Wechselwirkung zwischen verfügbarem Unterschlupf, lokalen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten definiert sind. Die Datenbank und das Programm selbst werden dabei stetig erweitert und verbessert, um immer genauere Prognosen von Dammbürchen erstellen zu können.<sup>234, 235, 236</sup>

<sup>232</sup> Aboelata, M. A.; Bowles, D. S. (2008): LIFESim: A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures, S.3

<sup>233</sup> McClelland, D. M.; Bowles, D. S. (2002): Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Assessment – A Review and new Approach, U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation

<sup>234</sup> Aboelata, M. A.; Bowles, D. S. (2008): LIFESim: A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures, S.4

<sup>235</sup> Spanish National Committee on Large Dams (12.12.2012): Risk Analysis Applied to Management of Dam Safety: Appendix C – Estimating loss of life, 119-132, Professional Association of Civil Engineers, URL: [http://www.spancold.es/archivos/monograph\\_risk\\_analysis.pdf](http://www.spancold.es/archivos/monograph_risk_analysis.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.131

<sup>236</sup> McClelland, D. M.; Bowles, D. S. (2002): Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Assessment – A Review and new Approach, U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation, S.152

In Abb. 3.24 ist die Zonenaufteilung der Berechnung dargestellt, welche sich wie folgt zusammensetzt:

- **Chances Zones**  
Zonen, in denen Personen weggespült werden oder unter Wasser gefangen sind. Das Überleben in dieser Zone ist sehr stark vom Zufall geprägt. Es besteht die Chance das Personen auf Treibgut in Sicherheit gelangen oder an Land gespült werden.  
Opferraten zwischen 50 % und 100 % (Durchschnitt 90 %)
- **Compromised Zones**  
Zonen, in denen der Unterschlupf schwer beschädigt wird und deshalb Personen in diesem Unterschlupf der Flut stärker ausgesetzt sind.  
Opferraten zwischen 0 % und 50 % (Durchschnitt 10 %)
- **Safe Zones**  
Zonen, die nicht oder kaum von der Flutwelle erfasst werden. Es besteht keine Gefahr, dass Menschen weggespült werden.  
Opferraten 0 %

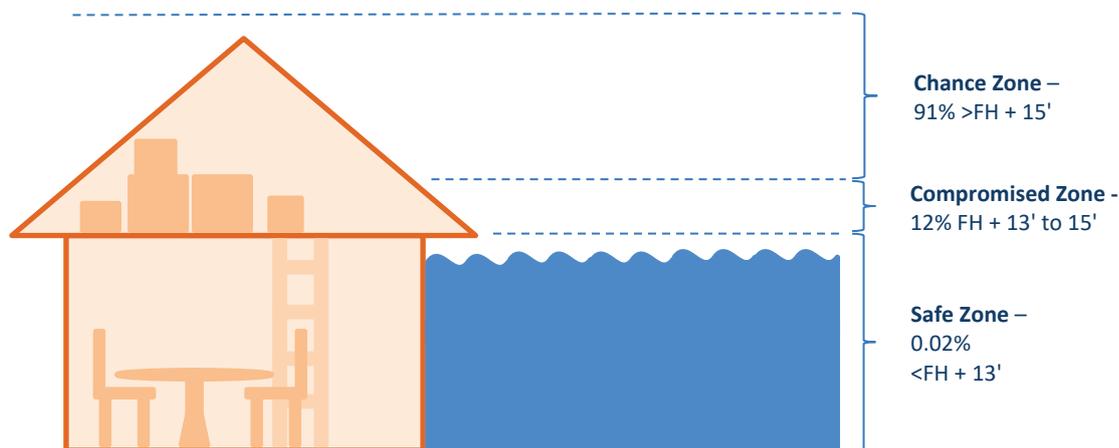


Abb. 3.24: vertikale Zonenaufteilung bei einem 1-geschoßigen Gebäude<sup>237</sup>

### 3.6.2 WARNING AND EVACUATION MODULE

Dieses Modul verteilt die Bevölkerung im Gefahrengebiet (*PAR*) neu. Dabei wird berücksichtigt wann eine Warnung ausgesprochen wird, die Tageszeit, Evakuierungsmethoden, die Distanz zu sicheren Plätzen und den Zustand der Straßen sowie die Kommunikationsinfrastruktur. Es werden auch Verkehrsströme und mögliche Blockaden (z.B. Stau, überschwemmtes Gebiet, umgestürzter Baum, etc.) berücksichtigt. Die Personen werden dabei bis zum Eintreffen der Flutwelle verteilt und befinden sich anschließend in einer der drei oben genannten Zonen oder außerhalb des Überschwemmungsgebiets (Cleared Area oder Evakuiert). Siehe auch Abb. 3.23.<sup>238, 239</sup>

<sup>237</sup> Buchanan, K.: Consequence Assessment for Dam Failure Simulations, *U.S. Army Corps of Engineers*, Präsentation

<sup>238</sup> Aboelata, M. A.; Bowles, D. S. (2008): LIFESim: A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures, S.4

<sup>239</sup> Spanish National Committee on Large Dams (12.12.2012): Risk Analysis Applied to Management of Dam Safety: Appendix C – Estimating loss of life, 119-132, *Professional Association of Civil Engineers*, URL: [http://www.spancold.es/archivos/monograph\\_risk\\_analysis.pdf](http://www.spancold.es/archivos/monograph_risk_analysis.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.131

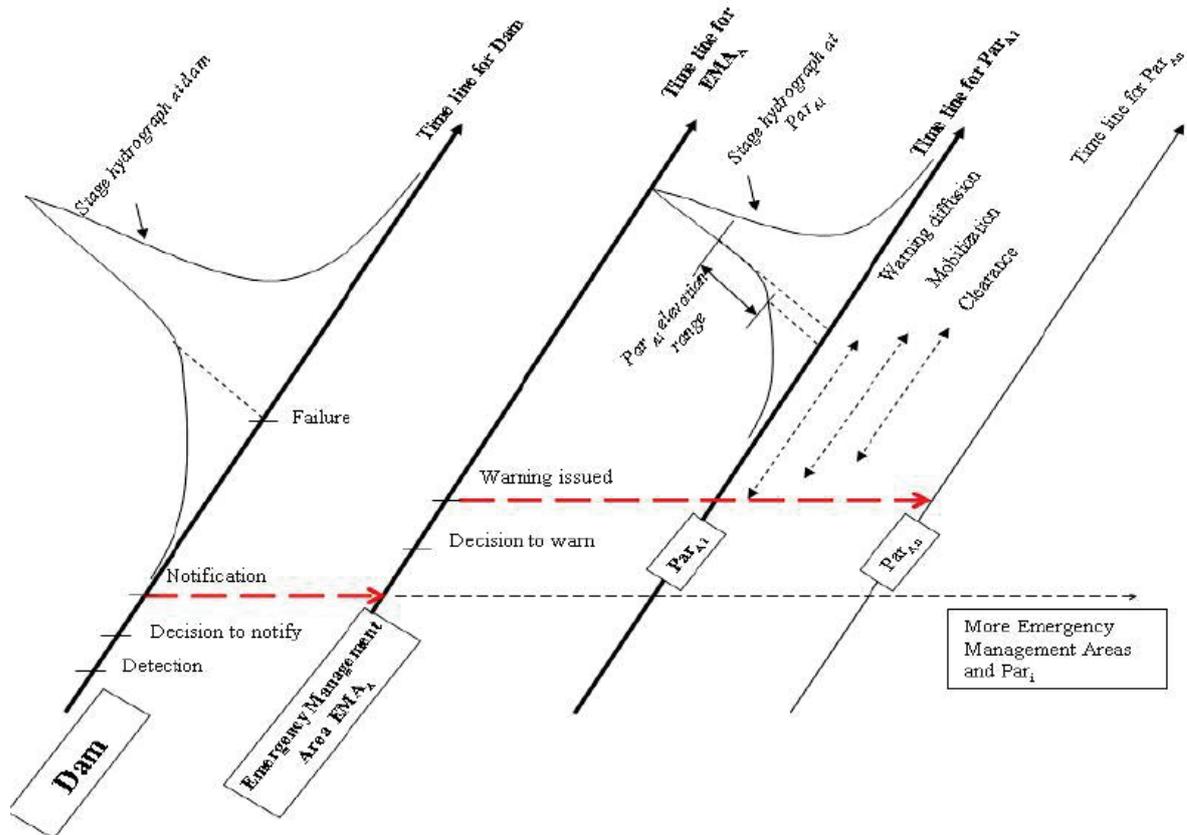


Abb. 3.25: Zeitlinie für Warnungs- und Evakuierungsprozesse<sup>240</sup>

In Abb. 3.25 ist eine typische Zeitlinie des Warnungs- und Evakuierungsprozesses zu sehen mit denen LIFESim arbeitet. Im ersten Graphen ist dabei der zeitliche Verlauf bei der Sperre dargestellt. Wichtige Meilensteine, wie das Erkennen des Versagensvorgangs (Detection), der Entschluss die Behörden zu verständigen (Decision to notify), die Verständigung der Behörden (Notification) und die Abflussganglinie des Versagensmechanismus sind dabei dargestellt. Ab der Verständigung der Behörden beginnt der Prozess des Notfallmanagements. Dabei wird entschieden, ob eine Warnung herausgegeben werden soll (Decision to warn) und schlussendlich der Zeitpunkt der Warnung (Warning issued). Nach der Warnung beginnt der Evakuierungsprozess der Personen im Gefahrengebiet (PAR). Dabei erfolgt eine Aufteilung in mehrere Gebiete. Für jedes Gebiet wird die Abflussganglinie in diesem berücksichtigt, um die Evakuierung zu simulieren. Dabei werden auch Prozesse wie die Warnungsverbreitung (Warning diffusion), die Wege der Personen (Mobilisation) und das Erreichen eines sicheren Gebiets (Clearance) simuliert.

<sup>240</sup> Aboelata, M. A.; Bowles, D. S. (2008): LIFESim: A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures, S.5

### 3.6.3 LOSS-OF-LIFE MODULE

Abhängig von der Zone, werden die Opferzahlen anhand der Wahrscheinlichkeitsverteilungen in Abb. 3.26 ermittelt. Dabei ist zu erkennen, dass in der Chance Zone (Prcz) in 50 % der Fälle eine Opferrate von 100 % und in 100 % der Fälle eine Opferrate von rund 40 % gegeben ist. LIFESim arbeitet also mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen, um die wahrscheinlichste Opferrate zu ermitteln.

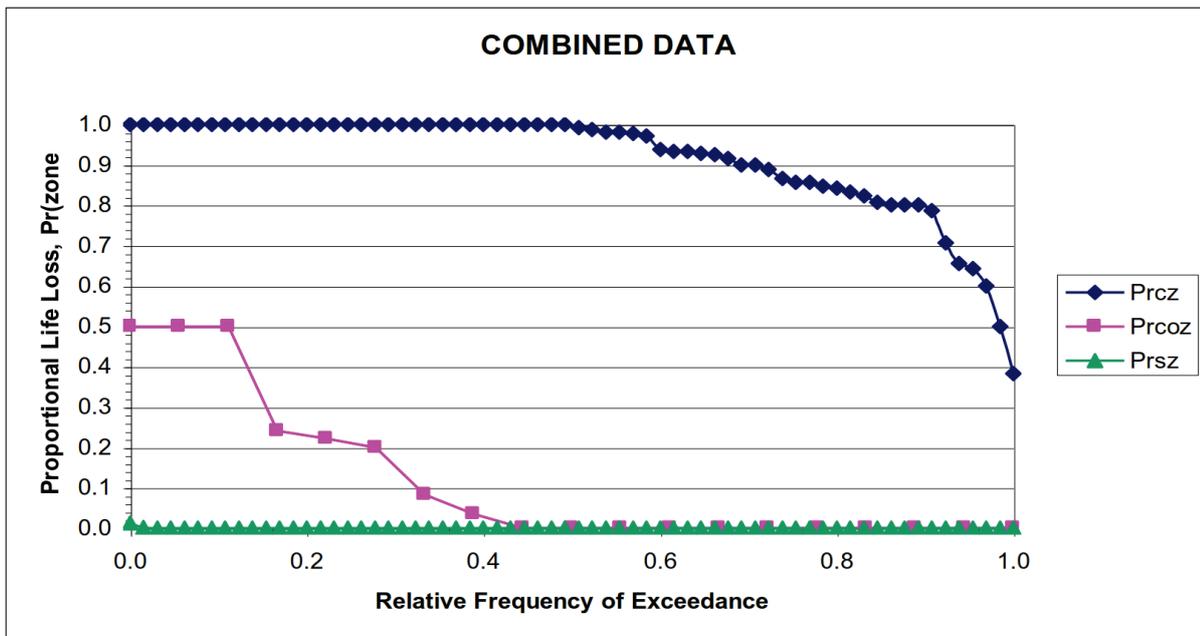


Abb. 3.26: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Opferraten für die drei Zonen; Pr... – Proportion of Lives Lost; Prcz – Chance Zone; Prcoz – Compromised Zone; Prsz – Safe Zone <sup>241</sup>

### 3.6.4 VEREINFACHTES LIFESIM – HEC-FIA

LIFESim benötigt eine große Menge an Daten und ist sehr zeitaufwendig in der Berechnung (sowohl Rechenzeit des Computers, als auch die Zeit zum Modellieren des Ereignisses). Des Weiteren dürfte diese Methode vor allem für Stadtzentren, in denen das Verkehrsnetz und die Verbreitung von Warnungen einen großen Einfluss haben können, angemessen sein. Für kleinere Ortschaften haben diese Faktoren einen geringeren Einfluss, weshalb auch eine vereinfachte Version ausreichen erscheint.<sup>242</sup>

Das vereinfachte Model HEC-FIA berücksichtigt dabei die Fließgeschwindigkeit nicht und vereinfacht die Berechnung der Evakuierung, indem das Straßennetz und mögliche Blockaden nicht mehr berücksichtigt werden. Trotzdem ist es deutlich komplexer als die Methode von Graham und kann bei großen Dambrüchen, welche mehrere Siedlungen betreffen, sehr aufwendig zu modellieren sein.<sup>242</sup>

<sup>241</sup> Aboelata, M. A.; Bowles, D. S. (2008): LIFESim: A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures, S.7

<sup>242</sup> Spanish National Committee on Large Dams (12.12.2012): Risk Analysis Applied to Management of Dam Safety: Appendix C – Estimating loss of life, 119-132, *Professional Association of Civil Engineers*, URL: [http://www.spancold.es/archivos/monograph\\_risk\\_analysis.pdf](http://www.spancold.es/archivos/monograph_risk_analysis.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.132

HEC-FIA ermöglicht dabei eine einfache Implementierung von hydraulischen Berechnungen von HEC-RAS, was die Verwendung des Programms maßgeblich erleichtert.

**Tabelle 3.6.1: Unterschiede LIFESim und HEC-FIA<sup>243</sup>**

Modul	LIFESim	HEC-FIA
<b>Hydraulische Berechnungen</b>	Räumlich verteilte Zeitserien von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit	Räumlich verteilte, maximale Wasserstände und Ankunftszeiten
<b>Loss of Shelter</b>	Zeitserien der Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit	Maximale Wasserstände
	Individuelle Gebäude oder Census-Clock-Daten	Individuelle Gebäude
	Voranschreitende Schadensbewertung während des gesamten Ereignisses	Schaden bei Höchstwasserständen
	Abhängig von der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit	Abhängig von der Wassertiefe
<b>Evakuierung</b>	Zeitserie der Wassertiefe bei Gebäuden und entlang von Straßen	Ankunftszeitpunkt der Flutwelle
	Abhängig von Straßenzustand	Fixiert für jedes Gebäude
	Verwendet Straßennetz zu sicherem Gebiet	Distanz einer geraden Linie zum sicheren Gebiet
	Dynamische Verkehrssimulation	Fixierte Evakuierungszeit für jedes Gebäude
<b>LOL</b>	Für jedes Gebäude und Straßensegment	Für jedes Gebäude
<b>Unsicherheiten</b>	Monte-Carlo-Simulation	Sensitivitätsanalyse

<sup>243</sup> Aboelata, M. A.: Recent Advances in Life-Loss and Flood Damage Estimation for Dam and Levee Failures, *Utah State University*, Präsentation, S.23



# **KAPITEL 4**

## **– ANWENDUNG DER METHODEN**



## 4.1 EINLEITUNG

In diesem Kapitel werden ausgewählte Methoden zur Abschätzung der Opferzahlen von zwei Fallbeispielen angewandt und miteinander verglichen. Im Detail werden dabei die Methoden nach

- Graham (DSO-99-06 Kapitel 3.2.3)<sup>244</sup> und nach
- Jonkman (Kapitel 3.3)<sup>245</sup>

behandelt. Als Anwendungsbeispiele dienen dabei zwei modellierte Versagensszenarien in Österreich, welche von ihrer Topografie und Bevölkerungsdichte nicht unterschiedlicher sein könnten. Es handelt sich dabei, um die Stauanlage Kartell in St. Anton am Arlberg und das Hochwasserrückhaltebecken in Mariasdorf/Tauchen. Als Datengrundlage für die Opferzahlenermittlung dient dabei eine Arbeit von René Dünkner<sup>246</sup>, welche sich in detaillierter Art und Weise mit der Flutwellenanalyse für den Versagensfall der beiden Anlagen beschäftigt.



Abb. 4.1: Ansicht Stauanlage Kartell<sup>247</sup>



Abb. 4.2: Ansicht Hochwasserrückhaltebecken Mariasdorf/Tauchen<sup>248</sup>

<sup>244</sup> Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office

<sup>245</sup> Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universität Delft

<sup>246</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

<sup>247</sup> Energie und Wirtschaftsbetriebe der Gemeinde St. Anton GmbH: Wasserkraftwerk Kartell, URL: [http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw\\_kartell.pdf](http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw_kartell.pdf) - Broschüre (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.14

<sup>248</sup> moleplan Bau- und Projektmanagement GmbH, URL: <http://www.moleplan.at/projekte/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

## 4.2 STAUANLAGE KARTELL – ST. ANTON AM ARLBERG

### 4.2.1 ANLAGENBESCHREIBUNG

Die Stauanlage Kartell befindet sich in der Gemeinde St. Anton am Arlberg, Tirol. Es handelt sich dabei um eine Anlage, die in erster Linie der Stromerzeugung dient. Der ca. 80 m hohe Steinschüttdamm mit einem mineralischen Dichtkern weist eine 250 m lange Krone auf, ist an der Basis 215 m breit und bildet den Speicher Kartell, welcher etwa  $8,1 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> Wasser fasst. Gespeist wird der Speicher Kartell von zwei Zuläufen, dem Kartellbach im Osten und dem Moosbach, welcher auch nach der Stauanlage weiterläuft, im Süden, dabei weist der Stausee ein 15 km<sup>2</sup> großes Einzugsgebiet auf. Der Speicher Kartell ist mit einem rund 4 km langen Druckstollen mit dem Kraftwerk Rosanna, welches sich an der Stauwurzel des Speichers Kartell befindet, verbunden.<sup>249</sup>

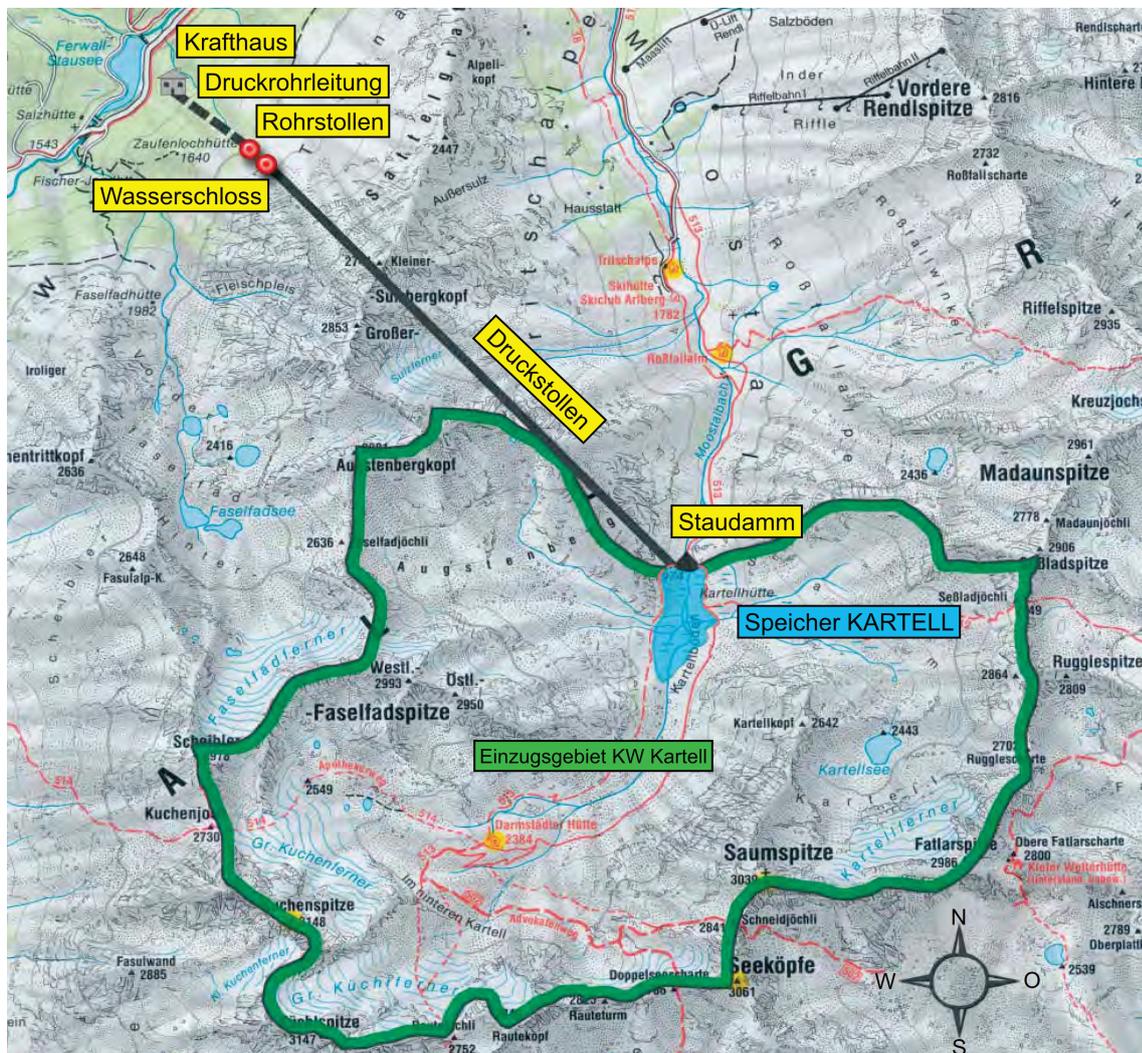


Abb. 4.3: Übersicht Stauanlage Kartell<sup>250</sup>

<sup>249</sup> Energie und Wirtschaftsbetriebe der Gemeinde St. Anton GmbH: Wasserkraftwerk Kartell, URL: [http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw\\_kartell.pdf](http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw_kartell.pdf) - Broschüre (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>250</sup> Energie und Wirtschaftsbetriebe der Gemeinde St. Anton GmbH: Wasserkraftwerk Kartell, URL: [http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw\\_kartell.pdf](http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw_kartell.pdf) - Broschüre (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.8

Der Steinschüttdamm besitzt einen mineralischen Dichtkern, welcher aus den anstehenden Moränenmaterial hergestellt wurde. Neben dem mineralischen Dichtkern wurde auch das restliche Schüttmaterial aus dem Nahbereich der Stauanlage gewonnen. In Summe weist der Damm eine Kubatur von  $8,4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  auf. In Abb. 4.4 ist der Aufbau des Damms und die verwendeten Materialien schematisch dargestellt.<sup>251</sup>

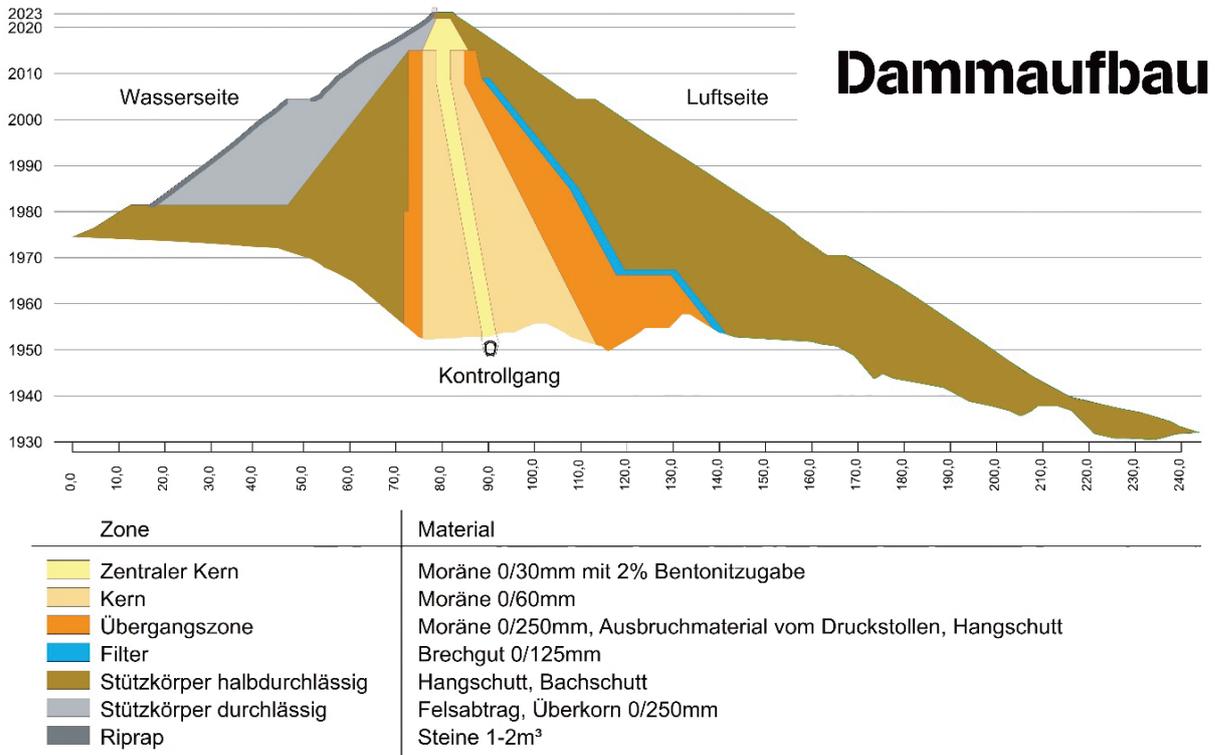


Abb. 4.4: Stauanlage Kartell Dammaufbau<sup>252</sup>

#### 4.2.2 EIGENSCHAFTEN DES UNTERSUCHTEN GEBIETS

Das untersuchte Gebiet erstreckt sich zu Beginn entlang des Moosbachs, bis zum ca. 5,6 km entfernten Einmündung in die Rosanna. Der darauffolgende, rund 17 km lange Abschnitt entlang der Rosanna, stellt den Hauptteil des Untersuchungsgebiets dar. Das gesamte Gebiet weist also in etwa eine Länge von 22,6 km auf. Entlang des Moosbachs befinden sich keine Ortschaften. Erst im Stanzer Tal, entlang der Rosanna, befinden sich die folgenden, im Detail untersuchten Ortschaften:

- St. Anton am Arlberg
- St. Jakob
- Pettneu
- Schnann
- Flirsch

<sup>251</sup> Energie und Wirtschaftsbetriebe der Gemeinde St. Anton GmbH: Wasserkraftwerk Kartell, URL: [http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw\\_kartell.pdf](http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw_kartell.pdf) - Broschüre (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>252</sup> Energie und Wirtschaftsbetriebe der Gemeinde St. Anton GmbH: Wasserkraftwerk Kartell, URL: [http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw\\_kartell.pdf](http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw_kartell.pdf) - Broschüre (letzter Zugriff: 03.10.2017), S.16

Das Tal ist, wie in Abb. 4.5 gut zu erkennen ist, sehr schmal und geprägt von den steilen Berghängen an den Talflanken. Verdeutlicht wird dieses Bild durch Abb. 4.6, in dem beispielhaft die Höhenschichtlinien für von St. Anton am Arlberg dargestellt sind. Es ist deutlich der Bahnhof südlich der Rosanna zu erkennen sowie der steile Geländeanstieg Richtung Südosten. Die Stadt selbst weist dabei eher geringere Höhenunterschiede auf.



Abb. 4.5: Blick entlang der Rosanna<sup>253</sup>

Das gesamte Tal weist dabei eine durchschnittliche Breite von etwa 400 bis 500 m an den breitesten Stellen auf. Diese Topografie bietet zum einen Schutz, da bei einem Hochwasserereignis höher gelegene Gebiete von den Wassermassen nicht erreicht werden, andererseits verschlimmert es die Situation in den tiefliegenden Gebieten. Am Beispiel St. Anton am Arlberg, in Abb. 4.6, ist zu erkennen, dass sich der Ortskern (Kirche ist Braun markiert) auf einer annähernd ebenen Fläche befindet und der Höhenunterschied zur Rosanna eher gering ist, Gebäude östlich und westlich des Stadtkerns befinden sich auf Anhöhen und sind dadurch im Falle eines Stauanlagenversagens vor der Flutwelle geschützt.

Erschwerend kommt hinzu, dass der Ortskern von St. Anton eine Art Linse beschreibt. Das heißt, dass die Flutwelle zunächst durch einen engen Teil des Tals fließt und dadurch hohe Geschwindigkeiten und Wassertiefen zu verzeichnen sind. Im Ortskern selbst breiten sich die

<sup>253</sup> Adaptierte Abbildung, URL: [https://media-cdn.holidaycheck.com/w\\_1024,h\\_768,c\\_fit,q\\_80/ugc/images/11c52722-ce5b-308a-a23d-cedc5b722511](https://media-cdn.holidaycheck.com/w_1024,h_768,c_fit,q_80/ugc/images/11c52722-ce5b-308a-a23d-cedc5b722511) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wassermassen anschließend großflächig aus. Am Ende des Ortskerns verengt sich das Tal wieder, weshalb es zu Rückstauwirkungen kommen kann. Diese „Linsen“-Form der Täler kann im gesamten Untersuchungsgebiet festgestellt werden und wird anhand von St. Anton beispielhaft erläutert.

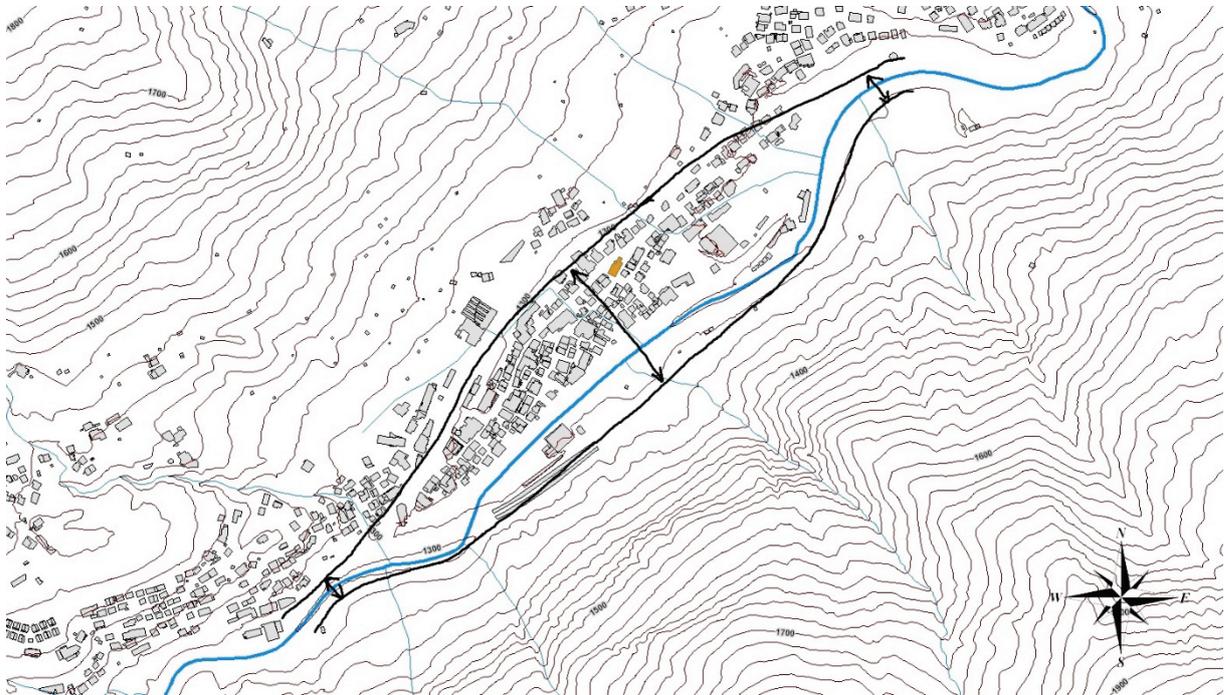


Abb. 4.6: "Linsen"-Form der Täler<sup>254</sup>

#### 4.2.2.1 BEVÖLKERUNG

Um den Einfluss der Bevölkerung auf die Opferzahlenermittlung zu berücksichtigen, wird davon ausgegangen, dass es sich in dieser Region in erster Linie um Einfamilienhäuser handelt. Typische Haushaltsgrößen können aus den Daten von Statistik Austria herangezogen werden. Die Daten zeigen die Entwicklung der Haushaltsgrößen alle 5 Jahre. Des Weiteren sind Daten für das gesamte Bundesgebiet und die einzelnen Bundesländer vorhanden. Diagramm 4.1 zeigt einen Ausschnitt aus diesen Daten.

<sup>254</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

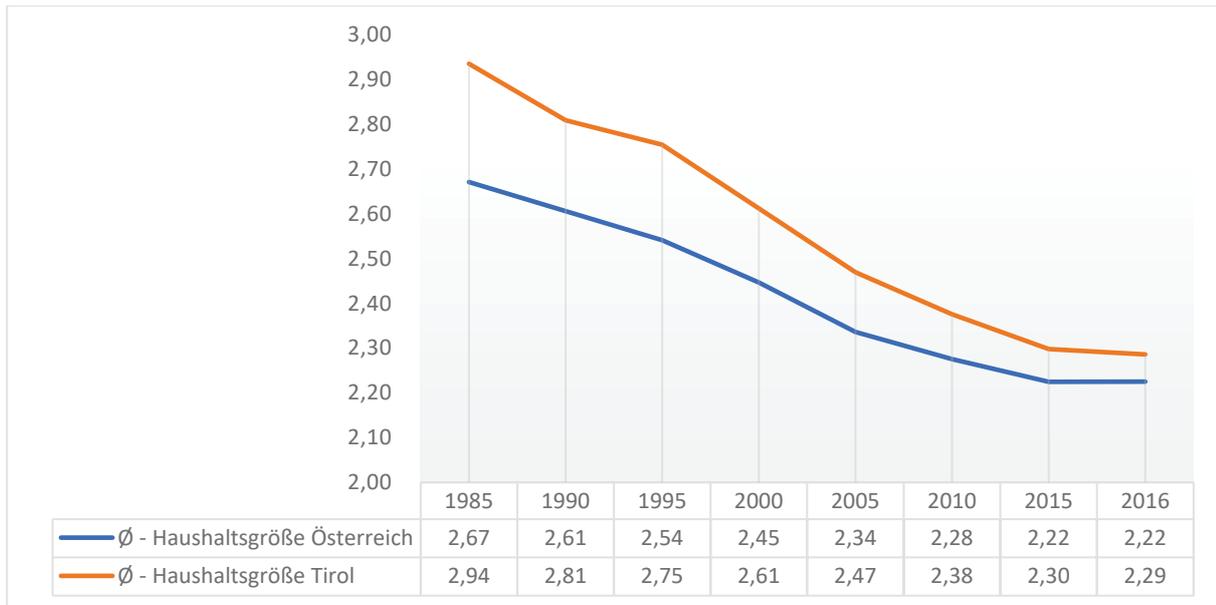


Diagramm 4.1: Durchschnittliche Haushaltsgrößen von Österreich und Tirol<sup>255</sup>

Hier ist bereits zu erkennen, dass wenn der österreichische Durchschnittswert verwendet wird, bereits die typische Haushaltsgröße falsch eingeschätzt werden würde. Der Tirol Atlas gibt an jeder Stelle genauere Werte aus dem Jahr 2001 für St. Anton, Pettneu und Flirsch an (siehe Abb. 4.7).

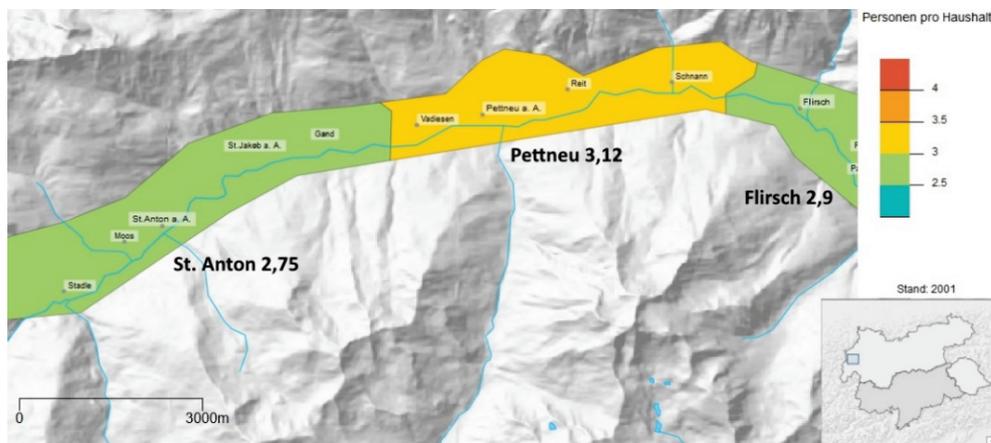
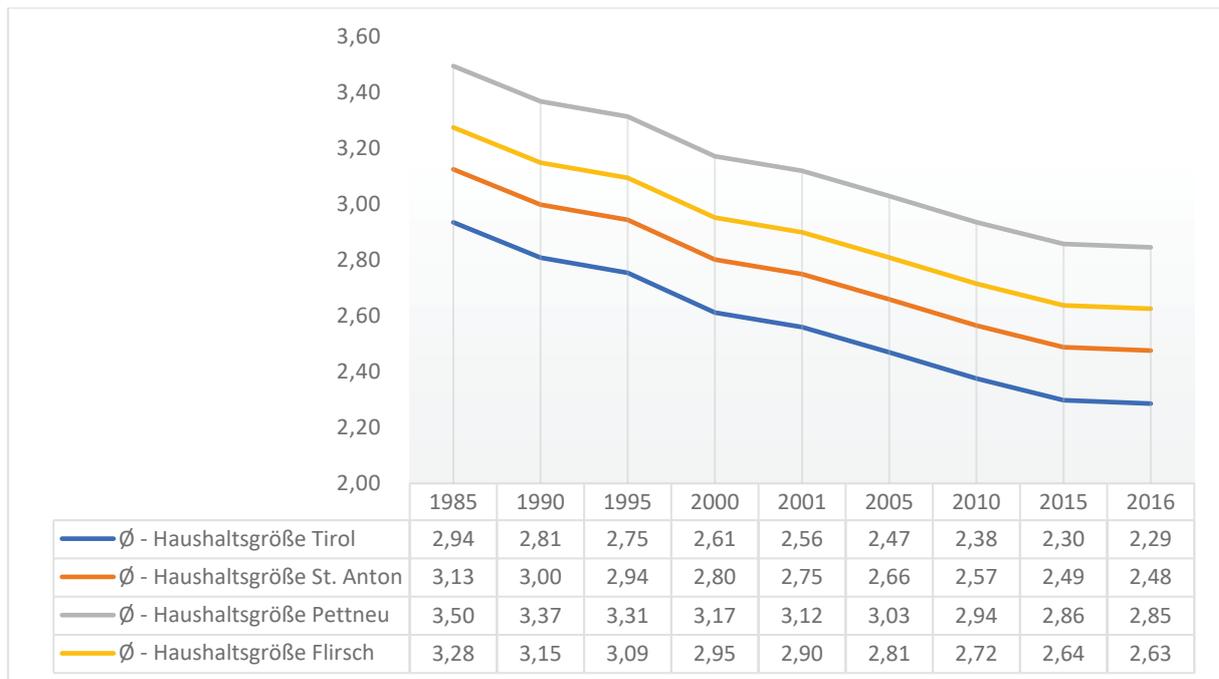


Abb. 4.7: Haushaltsgröße von St. Anton, Pettneu und Flirsch<sup>256</sup>

Es ist zu erkennen, dass im untersuchten Gebiet die durchschnittliche Haushaltsgröße über den Werten von ganz Tirol liegt. Allerdings ist aus den vorherigen Statistiken zu erkennen, dass die Haushaltsgröße stetig abgenommen hat. Es wäre also falsch, den Wert von 2001 für die jetzige Situation zu verwenden. Vereinfacht wird deshalb angenommen, dass die Abnahme der Haushaltsgrößen in ganz Tirol den gleichen Verlauf aufweist. Diese Überlegung führt zu der in Diagramm 4.2 dargestellten Entwicklung der Haushalte.

<sup>255</sup> Statistik Austria: Haushaltsgrößen, URL: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte\\_familien\\_lebensformen/haushalte/023303.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/023303.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>256</sup> Geographie Innsbruck: Tirol Atlas, URL: <http://tirolatlas.uibk.ac.at/maps/interface/thema.py/sheet?lang=de;id=162> (letzter Zugriff: 03.10.2017)



**Diagramm 4.2: Entwicklung der Haushaltsgröße in St. Anton, Pettneu und Flirsch**

In den weiteren Berechnungen wird mit den Werten der durchschnittlichen Haushaltsgröße von 2016 gerechnet, um die Situation im untersuchten Gebiet mit den aktuellen Gegebenheiten analysieren zu können.

#### 4.2.2.2 TOURISMUS

Die größte Besonderheit des untersuchten Gebiets stellt wohl der Tourismus dar. Vor allem in den Wintermonaten fahren viele Touristen in den Skiurlaub nach St. Anton. Im Winter 2016/2017 wurden 1.259.524 Übernachtungen aufgezeichnet, wohingegen die Übernachtungen im Sommer 2016 gerade einmal 184.057 betragen.

##### WINTERSAISON

Im Winter 2016/2017 registrierte der Tourismusverband von St. Anton am Arlberg 1.259.524 Übernachtungen in der gesamten Ferienregion, zu der neben St. Anton auch noch St. Christoph, St. Jakob, Pettneu, Schnann, Flirsch und Strengen gehören. Dabei wurden 240.343 Ankünfte, also Personen die in die Region reisten, in der Wintersaison 2016/2017 verzeichnet. Die Wintersaison dauert dabei 6 Monate, von November bis April. Auf alle 6 Monate gleichmäßig verteilt, entspricht das etwa 40.000 Personen die jeden Monat in der Region ankommen. In St. Anton selbst wurden 1.009.080 Übernachtungen gezählt, was etwa 80 % aller Übernachtungen entspricht. Das heißt, dass alleine in St. Anton im Winter etwa 32.000 Touristen pro Monat ankommen.

Laut Tourismusverband St. Anton<sup>257</sup> liegt dabei die durchschnittliche Aufenthaltsdauer bei 5,24 Nächten, was deutlich über dem nationalen Durchschnitt von 3,7 Nächten und auch über dem

<sup>257</sup> Daten von Tourismusverband St. Anton am Arlberg zur Verfügung gestellt

Durchschnitt des Lands Tirol, mit 4,6 Nächten, liegt. Aus diesen Zahlen kann abgeleitet werden, wie viele Touristen durchschnittlich in St. Anton übernachten.

**Beispiel:**

Bei 240.343 Personen, welche in der Wintersaison in der Region ankommen und einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer von 5,24 Nächten kann die durchschnittliche Anzahl an Personen pro Nacht wie folgt berechnet werden:

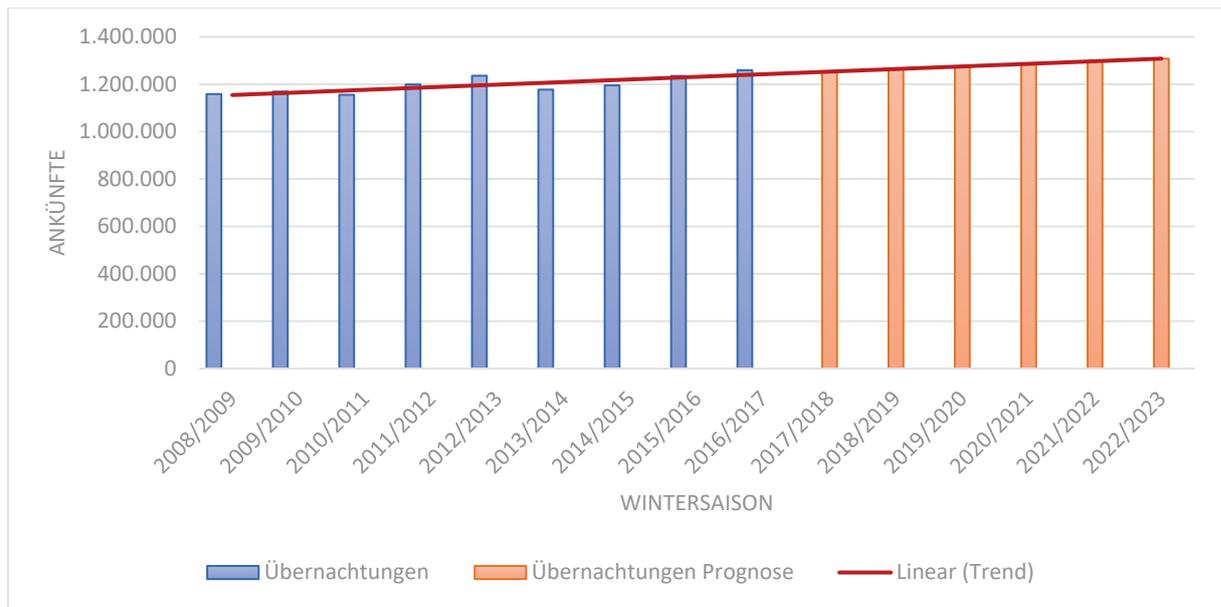
$$\frac{240.343 \text{ Personen}}{180 \text{ Tage in 6 Monaten}} \cdot 5,24 \text{ Nächte} = 6.996,65 \approx 7.000 \text{ Personen pro Nacht}$$

$$\frac{1.259.524 \text{ Übernachtungen}}{180 \text{ Tage in 6 Monaten}} = 6.997,36 \approx 7.000 \text{ Personen pro Nacht}$$

Das bedeutet, dass etwa 7.000 Touristen in jeder Nacht der Wintersaison in der Region übernachten. Für St. Anton selbst ergibt sich eine Zahl von 5.600 Personen pro Nacht.

In Realität werden sicher gerade zur Zeit der Winterferien/Weihnachtsferien und den Semesterferien Spitzenwerte in den Nächtigungszahlen erreicht. Laut Tourismusverband bieten alle Hotels der Region in Summe 14.585 Betten, wovon sich 11.373 in St. Anton befinden. Das heißt, dass bei einem Worst-Case-Szenario von einer vollen Belegung der Betten, oder zumindest einer 90 %-igen Belegung ausgegangen werden sollte.

Es kommt noch hinzu, dass das Feriengebiet St. Anton immer weiter ausgebaut wird. Des Weiteren ist, bei Betrachtung des Trends der letzten Jahre, anzunehmen, dass die Anzahl der Übernachtungen in den kommenden Jahren weiter ansteigen wird (siehe Diagramm 4.3). Hinzu kommt noch, dass durch den Klimawandel bedingt die Skisaisonen immer kürzer werden und somit immer mehr Personen in einem immer kürzer werdenden Zeitraum nach St. Anton reisen.



**Diagramm 4.3: Ankünfte in der Ferienregion St. Anton während der Wintersaison<sup>258</sup>**

Um genauere Abschätzungen betreffend der Touristenzahlen treffen zu können, werden die Tourismuszahlen der einzelnen Monate aus Tirol verwendet und für St. Anton adaptiert. Aus den Daten von Statistik Austria<sup>259</sup> geht hervor, dass die meisten Übernachtungen im Februar stattfinden. Die aufgezeichneten Übernachtungen aus der Ferienregion St. Anton werden nun gleich aufgeteilt wie für das Land Tirol. Das Ergebnis ist in Tabelle 4.2.1 zu finden.

**Tabelle 4.2.1: Verteilung der Übernachtungen und Ankünfte in der Wintersaison 2016/2017 von Tirol umgelegt auf die Ferienregion St. Anton<sup>258, 259</sup>**

	Tirol				St. Anton	
	Übernachtungen Tirol	% von Summe	Ankünfte Tirol	% von Summe	Übernachtungen St. Anton	Ankünfte St. Anton
<b>Nov.16</b>	1.003.045,00	3,98%	355.167,00	6,32%	50.178,95	15.184,92
<b>Dez.16</b>	3.546.490,00	14,09%	969.978,00	17,25%	177.418,92	41.470,74
<b>Jän.17</b>	6.131.733,00	24,35%	1.228.619,00	21,86%	306.749,90	52.528,76
<b>Feb.17</b>	7.367.051,00	29,26%	1.485.446,00	26,42%	368.548,68	63.509,22
<b>Mär.17</b>	5.639.843,00	22,40%	1.139.675,00	20,27%	282.142,30	48.726,02
<b>Apr.17<sup>1)</sup></b>	1.489.112,00	5,91%	442.607,00	7,87%	74.495,24	18.923,36
	<b>25.177.274,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>5.621.492,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>1.259.534,00</b>	<b>240.343,00</b>

<sup>1)</sup> Die Daten für April 2017 wurden vom April 2016 übernommen, da für diesen Monat noch keine Daten zur Verfügung standen.

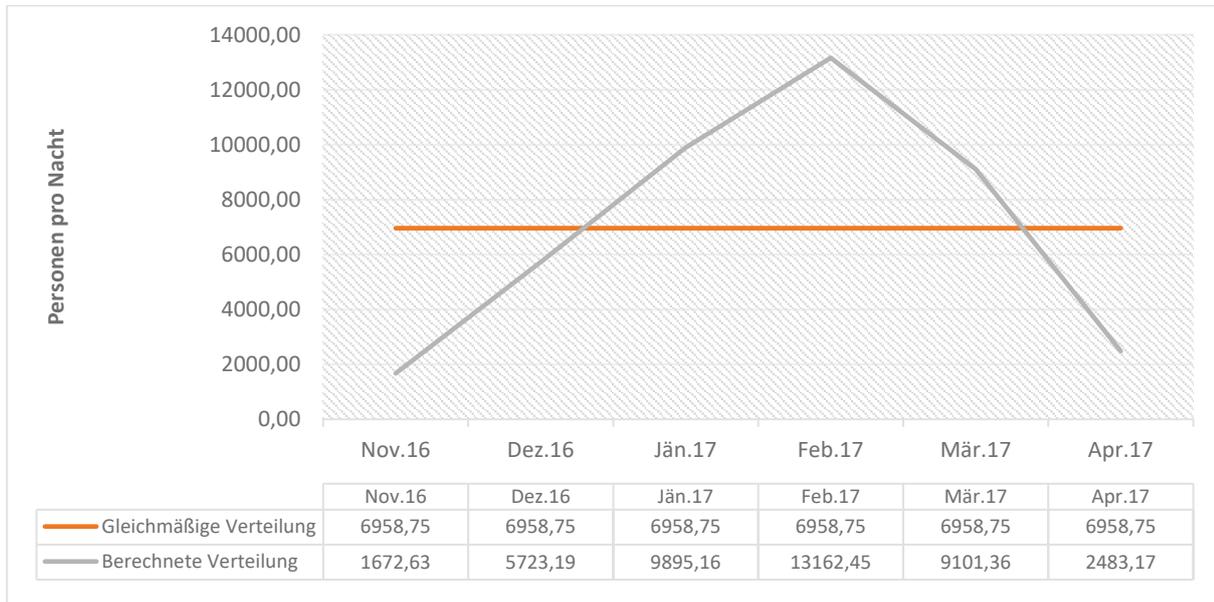
Wird nun aus dieser Verteilung die Anzahl der Personen pro Nacht berechnet ergibt sich folgendes Bild der Region: Die maximale Anzahl an Touristen, welche die Nacht in der Ferienregion St. Anton verbringen, ergibt sich im Februar zu 13.163 Personen und im Mittel zu 6.959 Personen (siehe Diagramm 4.4). Dies entspricht in etwa der zuvor vereinfachten

<sup>258</sup> Daten von Tourismusverband St. Anton am Arlberg zur Verfügung gestellt

<sup>259</sup> Statistik Austria: Tourismusdaten,

URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte\\_naechtigungen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte_naechtigungen/index.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Annahme, dass etwa 90 % der Bettenanzahl in einem Worst-Case-Szenario als belegt angesehen werden sollten, was etwa 13.127 Personen entsprechen würde.



**Diagramm 4.4: Anzahl der Personen, die im Winter pro Nacht in der Ferienregion St. Anton sind**

### **SOMMERSAISON**

Im Sommer geht der Tourismus deutlich zurück. In den Monaten von Mai bis Oktober wurden im Sommer 2016 184.057 Übernachtungen registriert. Nach Statistik Austria<sup>260</sup> liegt der bundesweite durchschnitt in den Sommermonaten bei 3,2 Nächten und jener vom Land Tirol bei 3,7 Nächten. Dies entspricht in etwa 50.000 Personen, die in den Sommermonaten nach St. Anton fahren. Die Verteilung der Übernachtungen ist allerdings, wie bereits im Winter, nicht einheitlich über die gesamte Saison, sondern deutlich höher in den Ferienmonaten Juli und August. Die vereinfachte Berechnung kann dabei wie für die Wintersaison erfolgen.

### **Beispiel:**

Bei 184.057 Übernachtungen während der Sommersaison und etwa 180 Tagen während der Sommersaison kann die durchschnittliche Anzahl an Personen pro Nacht wie folgt berechnet werden:

$$\frac{184.057 \text{ Übernachtungen}}{180 \text{ Tage in 6 Monaten}} = 1.022,54 \approx 1.025 \text{ Personen pro Nacht}$$

Wenn etwa 80 % dieser Personen in St. Anton übernachten, entspricht dies etwa 820 Personen.

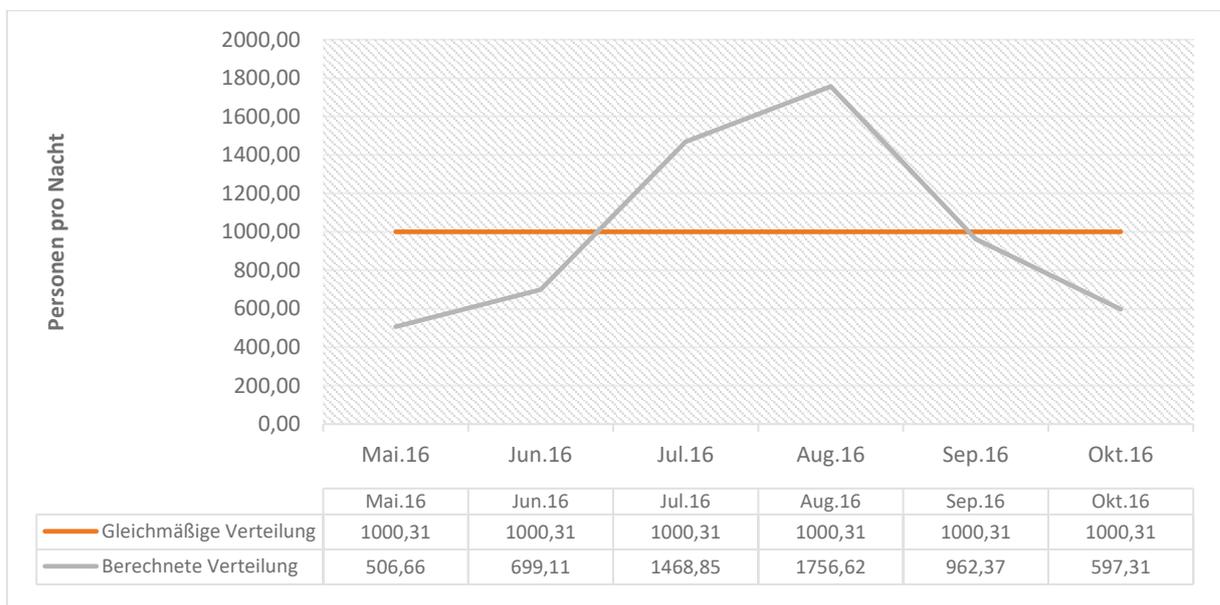
<sup>260</sup> Statistik Austria: Tourismusdaten,  
URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte\\_naechtigungen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte_naechtigungen/index.html)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Um die Anzahl der Personen pro Nacht besser abschätzen zu können, werden die monatlichen Touristenzahlen anhand der der monatlichen Touristenzahlen für Tirol ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.2.2 zu finden. Die Ankünfte in der Region werden über die durchschnittliche Aufenthaltsdauer von 3,7 Nächten ermittelt.

**Tabelle 4.2.2: Verteilung der Übernachtungen und Ankünfte in der Sommersaison 2016 von Tirol umgelegt auf die Ferienregion St. Anton**<sup>261, 262</sup>

	Tirol				St. Anton	
	Übernachtungen Tirol	% von Summe	Ankünfte Tirol	% von Summe	Übernachtungen St. Anton	Ankünfte St. Anton
<b>Mai.16</b>	1.768.940,00	8,53%	594.049,00	10,53%	15.706,43	5.238,82
<b>Jun.16</b>	2.362.109,00	11,39%	700.517,00	12,42%	20.973,18	6.177,74
<b>Jul.16</b>	5.128.313,00	24,74%	1.371.029,00	24,31%	45.534,33	12.090,87
<b>Aug.16</b>	6.133.027,00	29,59%	1.424.792,00	25,26%	54.455,19	12.565,00
<b>Sep.16</b>	3.251.614,00	15,69%	926.434,00	16,42%	28.871,10	8.170,06
<b>Okt.16</b>	2.085.454,00	10,06%	623.965,00	11,06%	18.516,76	5.502,64
	<b>20.729.457,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>5.640.786,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>184.057,00</b>	<b>49.745,14</b>

Wird nun aus dieser Verteilung die Anzahl der Personen pro Nacht berechnet, ergibt sich ein ganz anderes Bild der Region. Die maximale Anzahl an Touristen, welche die Nacht in der Ferienregion St. Anton verbringen, ergibt sich im August zu 1.757 Personen und im Mittel zu 1.000 Personen (siehe Diagramm 4.5).



**Diagramm 4.5: Anzahl der Personen, die im Sommer pro Nacht in der Ferienregion St. Anton sind**

<sup>261</sup> Daten von Tourismusverband St. Anton am Arlberg zur Verfügung gestellt

<sup>262</sup> Statistik Austria: Tourismusdaten,

URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte\\_naechtigungen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte_naechtigungen/index.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

### 4.2.3 FLUTWELLEN

Wie bereits erwähnt, wurden im Zuge einer Arbeit von René Dünkner<sup>263</sup> unterschiedliche Dammbuchszszenarien der Speicheranlage Kartell simuliert. Dabei wurden die Abflussganglinien mit dem Programm DEICH ermittelt und anhand von vier unterschiedlichen Ansätzen zur Breschenentwicklung 4 Flutwellen ermittelt:

- Smart/ungleichförmig (SmartU) Spitzenabfluss  $Q_p = 1.943,38 \text{ m}^3/\text{s}$
- Smart (BroichSmart) Spitzenabfluss  $Q_p = 1.264,96 \text{ m}^3/\text{s}$
- Meyer-Peter Müller (BroichMP) Spitzenabfluss  $Q_p = 1.508,70 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pierce (Pierce) Spitzenabfluss  $Q_p = 3.010,34 \text{ m}^3/\text{s}$

Diese vier Flutwellen resultieren in unterschiedlichen Überschwemmungsgebieten und unterscheiden sich in der somit die Anzahl der Personen im Gefahrengbiet.

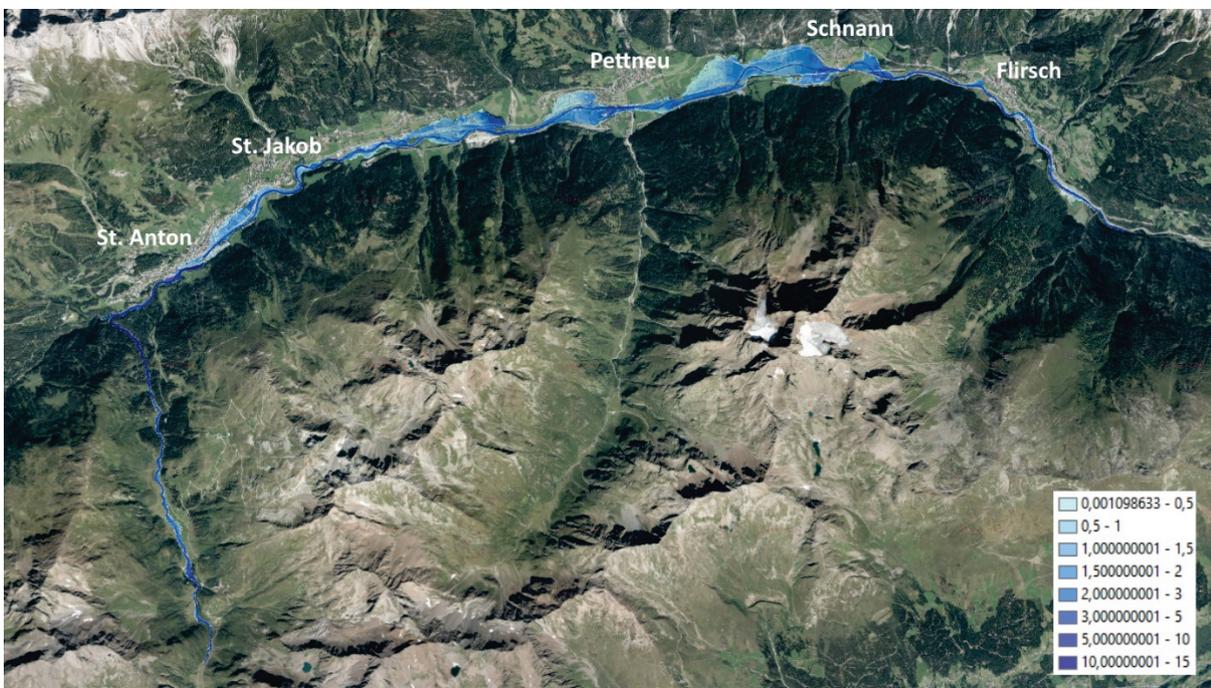


Abb. 4.8: Maximale Wasserstände Flutwelle SmartU<sup>264</sup>

<sup>263</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

<sup>264</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

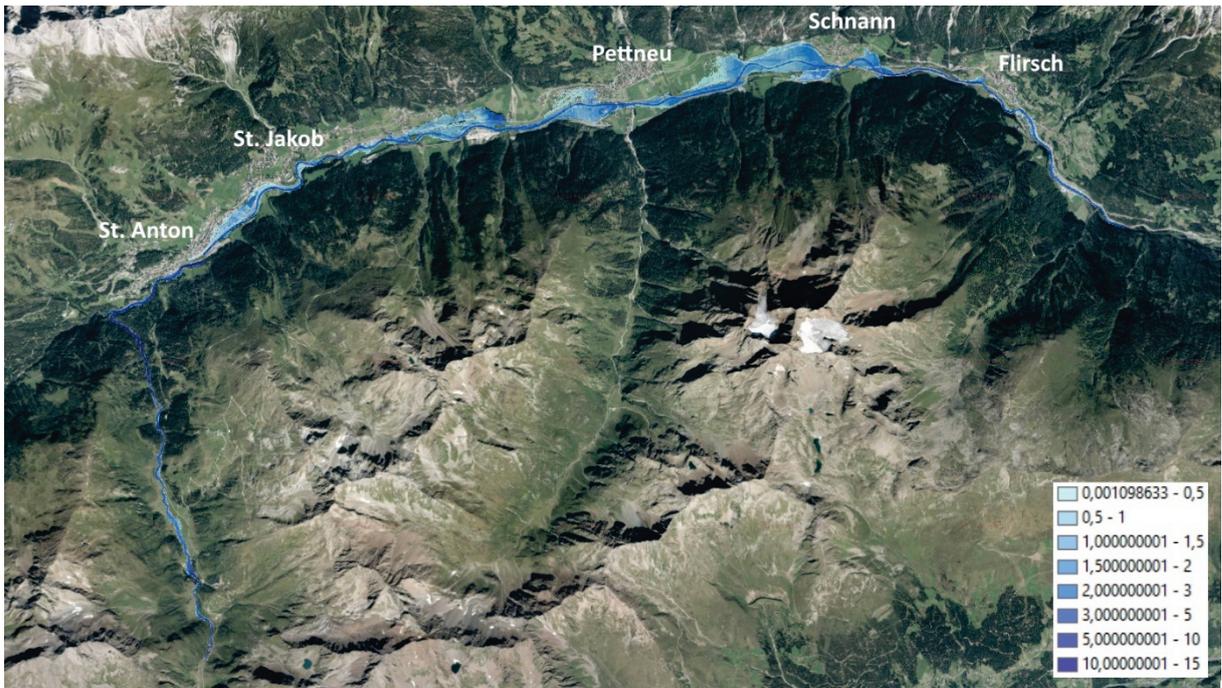


Abb. 4.9: Maximale Wasserstände Flutwelle Broich Smart<sup>265</sup>

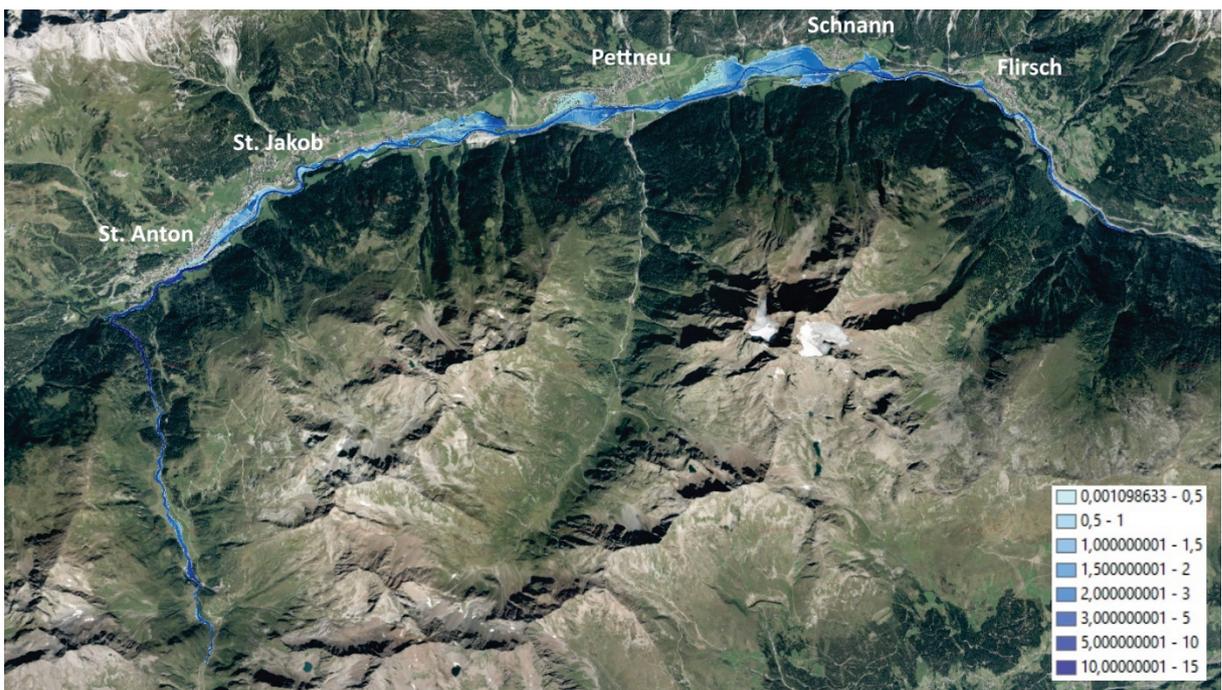


Abb. 4.10: Maximale Wasserstände Flutwelle BroichMP<sup>265</sup>

<sup>265</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)



Abb. 4.11: Maximale Wasserstände Flutwelle Pierce<sup>266</sup>

Auf den Abbildungen (Abb. 4.8 bis Abb. 4.11) sind die maximalen Wasserstände im Überschwemmungsgebiet dargestellt. Bereits auf den Übersichtskarten ist die „Linsenform“ in den Überflutungstälern gut zu erkennen.

Ein genaueres Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Grenzen der Überschwemmungsgebiete. Dafür wird wieder beispielhaft St. Anton herangezogen. In Abb. 4.12 ist deutlich zu erkennen, wie sich die Grenzen der Überflutungsgebiete in den engen Bereichen des Tals überlagern und sich anschließend im Ortsgebiet unterschiedlich weit ausbreiten. Aufgrund des schnell ansteigenden Geländes in Richtung der Bergflanken, fallen auch die Unterschiede im Ortsgebiet eher gering aus, allerdings kann damit auch abgeschätzt werden, wie tief das Wasser in der jeweiligen Berechnung steht. Je größer das Überschwemmungsgebiet im Ort ausfällt, desto größer ist der Wasserstand. Der maximale Wasserstand ist ein maßgebender Faktor für die Abschätzung der Opferzahlen.

<sup>266</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

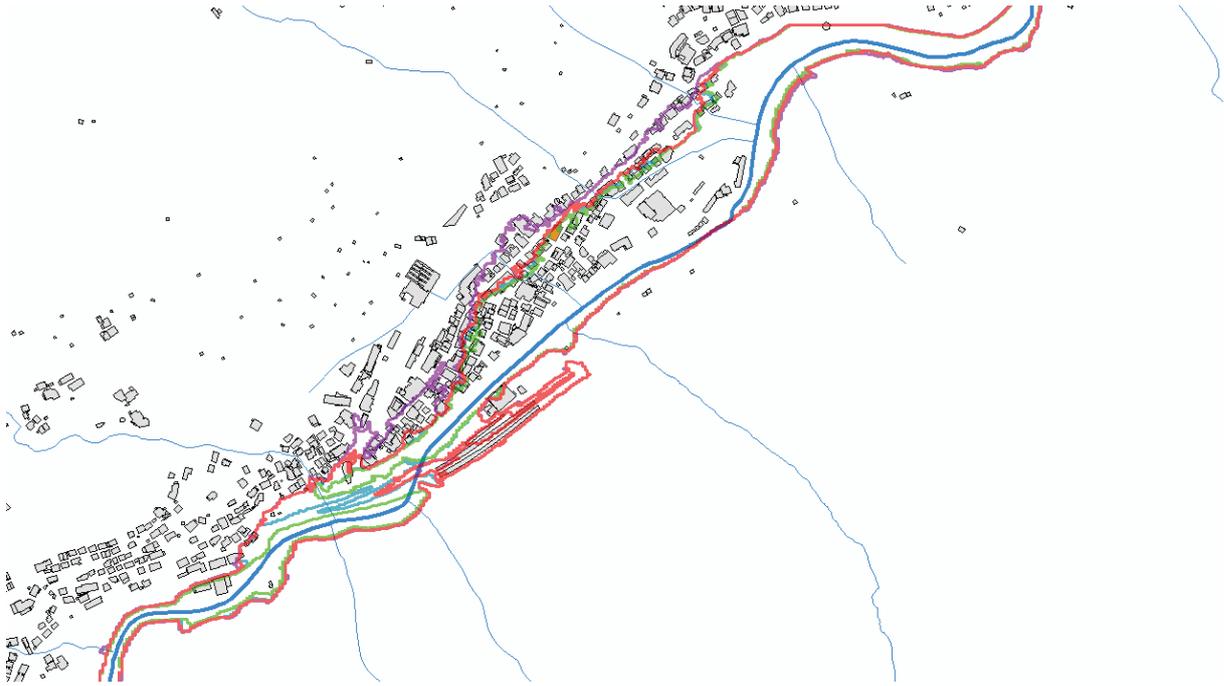


Abb. 4.12: Überschwemmungsgebiet St. Anton –  
ROT – SmartU / GRÜN – Broich Smart / BLAU – BroichMP / VIOLETT - Pierce<sup>267</sup>

#### 4.2.4 GRAHAM METHODE

Im folgenden Kapitel wird die Methode nach Graham, wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, Schritt für Schritt angewendet.

##### **SCHRITT 1: DEFINITION DER ZU UNTERSUCHENDEN VERSAGENSSZENARIOEN**

Bei den unterschiedlichen Dammbrechszszenarien handelt es sich um die vier Szenarien, welche in Kapitel 4.2.3 beschrieben sind:

- SmartU Spitzenabfluss  $Q_p = 1.943,38 \text{ m}^3/\text{s}$
- BroichSmart Spitzenabfluss  $Q_p = 1.264,96 \text{ m}^3/\text{s}$
- BroichMP Spitzenabfluss  $Q_p = 1.508,70 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pierce Spitzenabfluss  $Q_p = 3.010,34 \text{ m}^3/\text{s}$

##### **SCHRITT 2: DEFINITION DER ZEITKATEGORIEN FÜR WELCHE DIE EINSCHÄTZUNG DER OPFER**

###### **GESUCHT IST**

Besonders unter Berücksichtigung der großen Schwankungen in der Anzahl an Personen im untersuchten, Gebiet scheint es sinnvoll mehrere Zeitpunkte zu untersuchen zu denen der Damm versagen könnte. Aus diesem Grund werden 3 unterschiedliche Zeitpunkte eines Jahres untersucht:

- Winter – Februar
- Sommer – August
- Sommer – Mai

<sup>267</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

Die Einteilung in Februar und August stellt jeweils die maximalen Personenzahlen in den jeweiligen Touristensaisonen dar. Die dritte Einteilung (Sommer – Mai) stellt die minimale Anzahl an Touristen dar, die in diesem Gebiet übernachten. Dadurch kann neben den Maximalwerten auch ein Minimalwert der Opferzahlen abgeschätzt werden.

Weiters erfolgt eine weitere Unterscheidung in Tag und Nacht. Diese Einteilung erscheint besonders logisch unter Berücksichtigung, dass sich, abhängig von der Tageszeit, mehr oder weniger viele Personen in Hotels aufhalten. Über Nacht werden Hotels mehr Personen beherbergen, wohingegen sie Tagsüber eher leer sind. Ähnliches gilt für andere Gebäude, wie z.B. Schulen, in denen nur Tagsüber Personen zu erwarten sind.

Von einer weiteren Einteilung, welche Sonntage, um genauer zu sein den Zeitpunkt der Sonntagsmesse, berücksichtigt wird Abstand genommen, da sich nur die Kirche von St. Anton Überschwemmungsgebiet befindet. Da sich diese allerdings nur an der Grenze des Überschwemmungsgebiets befindet, sollten die Opferzahlen zur Zeit der Sonntagsmesse nicht maßgeblich beeinflusst werden. Die gewählten Zeitkategorien sind in Tabelle 4.2.3 aufgelistet.

**Tabelle 4.2.3: Einteilung der Zeitkategorien**

Jahreszeit	Tageszeit	Bezeichnung	Beschreibung	Anmerkungen
<b>Winter – Februar</b>	Tag	W-T-01	Monat mit den meisten Personen über Nacht. Worst-Case-Szenario am Tag	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaum bis gar keine Touristen in den Hotels</li> <li>- Personal in den Hotels</li> <li>- Schulen und Kindergärten voll</li> <li>- Teil der Touristen in den Einkaufsstraßen</li> </ul>
	Nacht	W-N-01	Zeitkategorie mit den maximalen Personen im Winter. Absolutes Worst-Case-Szenario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Betten in den Hotels belegt</li> <li>- Nur Teil des Personals in den Hotels</li> <li>- Schulen und Kindergärten leer</li> <li>- Einkaufsstraßen leer</li> </ul>
<b>Sommer – August</b>	Tag	S-T-01	Zeitkategorie mit den maximalen Personen im Sommer.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaum bis gar keine Touristen in den Hotels</li> <li>- Personal in den Hotels</li> <li>- Schulen und Kindergärten voll</li> <li>- Teil der Touristen in den Einkaufsstraßen</li> </ul>
	Nacht	S-N-01	Zeitkategorie mit den maximalen Personen im Sommer.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Betten in den Hotels belegt</li> <li>- Nur Teil des Personals in den Hotels</li> <li>- Schulen und Kindergärten leer</li> <li>- Einkaufsstraßen leer</li> </ul>
<b>Sommer – Mai</b>	Tag	S-T-02	Zeitkategorie mit den minimalen Personen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaum bis gar keine Touristen in den Hotels</li> <li>- Personal in den Hotels</li> <li>- Schulen und Kindergärten voll</li> <li>- Teil der Touristen in den Einkaufsstraßen</li> </ul>
	Nacht	S-N-02	Zeitkategorie mit den minimalen Personen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Betten in den Hotels belegt</li> <li>- Nur Teil des Personals in den Hotels</li> <li>- Schulen und Kindergärten leer</li> <li>- Einkaufsstraßen leer</li> </ul>

**SCHRITT 3: DEFINITION WANN ES ZU WARNUNGEN DER BEVÖLKERUNG KOMMT**

Für die Erstellung der Szenarien wann es zur Warnung kommt wird zunächst ein Referenzszenario erstellt, bei dem davon ausgegangen wird, dass es zu keiner Warnung kommt. Dadurch kann der Einfluss der Warnungen beurteilt werden. Anschließend werden nach Tabelle 3.2.7, für den Versagensmechanismus Überströmen bei einem Wassereinzugsgebiet unter 260 Quadratkilometer (untersuchtes Einzugsgebiet mit 15 km<sup>2</sup>, siehe Kapitel 4.2.1), zwischen vielen und wenigen Beobachtern unterschieden. Die Verwendung beider Kategorien erfolgt, um auch den Einfluss von Messeinrichtungen oder automatischen Alarmen beurteilen zu können.

In Tabelle 4.2.4 sind die untersuchten Szenarien der Vorwarnung gelistet.

**Tabelle 4.2.4: Einteilung der Vorwarnzeiten nach Graham**

Kategorie	Tageszeit	Warnung	Bezeichnung
Keine Vorwarnzeit	Tag und Nacht	keine	WT-Ref
Viele Beobachter	Tag	15 Minuten vor Dammversagen	WT-B-T
	Nacht	15 Minuten nach Dammversagen	WT-B-N
Keine Beobachter	Tag	15 Minuten nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	WT-K-T
	Nacht	60 Minuten nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	WT-K-N

**SCHRITT 4: DEFINITION DES ÜBERFLUTUNGSGEBIETS**

Das Überflutungsgebiet wird Anhand der in Schritt 1 definierten Dammbuchszszenarien modelliert. Die Arbeit stützt sich dabei auf die Ergebnisse der Arbeit von Dünkner.<sup>268</sup>

**SCHRITT 5: EINSCHÄTZUNG DER PERSONEN IN DER GEFAHRENZONE (PAR) FÜR ALLE****VERSAGENSSZENARIEN UND ZEITKATEGORIEN**

Für die Einschätzung der Personen in der Gefahrenzone sind mehrere Überlegungen notwendig. Zunächst werden die Gebäude im Überflutungsgebiet aufgenommen und Ihrer Bestimmung zugeordnet. Dabei ergaben sich folgende Gebäudekategorien:

- Unterkünfte
- Schulen
- Volksschulen
- Kindergärten
- Wohnhaus
- Bahnhof
- Seilbahn/Busbahnhof
- Büros

<sup>268</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

- Geschäfte
- Fußballplatz
- Hallenbad
- Lager
- Wirtschaftsgebäude
- Autowerkstatt
- Umspannwerk
- Campingplatz

Für jede Gebäudekategorie wird nun abgeschätzt, wie viele Personen sich in den Gebäuden befinden. Dabei werden nur jene Gebäudeklassen, welche einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben können, genauer untersucht. Für die anderen Gebäudekategorien wird die Anzahl der Personen abgeschätzt. Genauer untersucht werden dabei:

- Unterkünfte
- Wohnhaus
- Campingplatz

#### ***UNTERKÜNFTE***

Für die Ermittlung der Personen in den Unterkünften werden die statistischen Werte des Tourismusverbands in St. Anton verwendet. Des Weiteren werden die Unterkünfte noch weiter unterteilt, da auch hier unterschiedliche Klassen und damit verbunden, unterschiedlich viele Personen zu erwarten sind. Folgende Einteilung wird dabei getroffen:

- Hotel
- Hotel Garni
- Pension
- Gasthof
- Ferienwohnung
- Ferienhaus

Anhand der vorhandenen Informationen, wie viele Betten in der gesamten Ferienregion zur Verfügung stehen und dem Wissen wie viele der jeweiligen Unterkünfte in der Region vorhanden sind, wird abgeschätzt wie viele Zimmer und damit verbunden Betten im Schnitt für jede Unterkunfts-kategorie vorzufinden sind. Dabei handelt es sich um geschätzte Werte, da keine genaueren Informationen zur Verfügung standen.

**Tabelle 4.2.5: Anzahl der Betten für jede Unterkunfts-kategorie**

Unterkunfts-kategorie	Ø-Betten / Unterkunft	Anzahl der Unterkünfte <sup>269</sup>	Summe Betten
<b>Hotel</b>	55	53	3.025
<b>Hotel Garni</b>	50	55	2.650
<b>Pension</b>	30	225	6.750
<b>Gasthof</b>	20	3	60
<b>Ferienwohnung</b>	4	505	2.020
<b>Ferienhaus</b>	8	11	88
		<b>852</b>	<b>14.593</b>

Mit der Einschätzung der durchschnittlichen Bettenzahl pro Unterkunfts-kategorie aus Tabelle 4.2.5 werden 14.593 Betten in der gesamten Region angenommen. Das sind 8 Betten mehr als vom Tourismusverband St. Anton angegeben wurden. Allerdings entspricht dies einer Differenz von 0,55 Promille und ist daher vernachlässigbar, noch dazu, wenn berücksichtigt wird, dass es sich bei der durchschnittlichen Bettenzahl um Schätzwerte handelt, welche das Ergebnis stärker beeinflussen können.

Zu der Einschätzung der Anzahl an Touristen in den Hotels addiert sich das Personal in den Unterkünften. Die Einschätzung des Personals in jeder Unterkunft ist in Tabelle 4.2.6 veranschaulicht. Des Weiteren wird angenommen, dass über Nacht im Winter zwei Personen in den Hotels bleiben und im Sommer eine Person.

**Tabelle 4.2.6: Personal in den Unterkünften**

Unterkunfts-kategorie & Personal	Winter	Sommer
<b>Hotel / Pension / Gasthöfe</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
Reinigungspersonal	4	2
Rezeption	2	1
Restaurant	4	2
<b>Ferienwohnung</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Ferienhaus</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Aus diesen Abschätzungen kann nun die Anzahl der Personen die sich während der 6 definierten Zeitkategorien in jeder Unterkunft aufhalten, ermittelt werden. Weiters wird angenommen, dass sich Tagsüber zwar das gesamte Personal in den Unterkünften befindet, aber nur etwa 10 % der Touristen in den Hotels anzutreffen sind, da diese in erster Linie Freizeitaktivitäten nachgehen werden. Die Anzahl der Gäste pro Unterkunft wird anteilmäßig auf alle Unterkünfte aufgeteilt, wobei die Anzahl der Gäste aus den statistischen Werten aus Kapitel 4.2.2.2 entnommen werden. In Tabelle 4.2.7 ist die Anzahl der Touristen je Saison dargestellt.

<sup>269</sup> Daten zur Verfügung gestellt vom Tourismusverband St. Anton

**Tabelle 4.2.7: Anzahl der Touristen in Abhängigkeit der Saison**

Saison	Anzahl der Gäste
Winter – Februar	13.162,45
Sommer – August	1.756,62
Sommer – Mai	506,66

**Beispiel:**

Die Berechnung der Personen erfolgte nun anhand der statistischen Werte aus Tabelle 4.2.7 und der gesamten Bettenanzahl der Ferienregion (14.585 Betten). Daraus kann die Belegungsrate berechnet werden.

$$\text{Belegungsrate} = \frac{\text{Touristen in der Ferienregion}}{\text{Bettenanzahl der Ferienregion}} \cdot 100$$

Am Beispiel für die Wintersaison würde dies also bedeuten:

$$\text{Belegungsrate} = \frac{13.162,45}{14.585} \cdot 100 = 90,25 \%$$

Diese Belegungsrate entspricht der ursprünglichen Überlegung, dass in einem Worst-Case-Szenario zumindest eine 90 %-ige Belegung der Betten angenommen werden sollte.

**Tabelle 4.2.8: Anzahl der Personen pro Unterkunft für alle Zeitkategorien**

	Winter - Februar		Sommer - August		Sommer - Mai	
	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
	W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01	S-N-02	S-T-02
<b>Belegungsrate</b>	90,25 %	9,02 %	12,04 %	1,20 %	3,47 %	0,35 %
<b>Unterkunfts-kategorie</b>	<b>Personen / Unterkunft <sup>A)</sup></b>					
<b>Hotel</b>	51,64	14,96	7,62	5,66	2,91	5,17
<b>Hotel Garni</b>	47,12	14,51	7,02	5,60	2,74	5,19
<b>Pension</b>	29,07	12,71	4,61	5,36	2,04	5,10
<b>Gasthof</b>	20,05	11,80	3,41	5,24	1,69	5,07
<b>Ferienwohnung</b>	3,61	0,36	0,48	0,05	0,14	0,01
<b>Ferienhaus</b>	7,22	0,72	0,96	0,10	0,28	0,03

<sup>A)</sup> Das Personal wurde bereits in den dargestellten Werten nach Tabelle 4.2.6 berücksichtigt.

**WOHNHÄUSER**

Wie bereits in Kapitel 4.2.2.1 erwähnt, wird davon ausgegangen, dass es sich im untersuchten Gebiet ausschließlich um Einfamilienhäuser handelt. Allerdings wird die unterschiedliche Größe der Haushalte in St. Anton, Pettneu und Flirsch berücksichtigt. Die verwendeten Werte sind in Tabelle 4.2.9 zu finden.

**Tabelle 4.2.9: Durchschnittliche Haushaltsgröße im untersuchten Gebiet**

Gebiet	Ø – Haushaltsgröße
St. Anton	2,48
St. Jakob	2,48
Pettneu	2,85
Schnann	2,85
Flirsch	2,63

Auf Basis der Daten aus Tabelle 4.2.9 wird die Personenanzahl für jede Zeitkategorie abgeschätzt, wobei hier zwischen Sommer und Winter keine Unterschiede zu erwarten sind. Um weiters zu berücksichtigen, dass Personen tagsüber arbeiten und dem entsprechend nicht zu Hause sind, wird angenommen, dass tagsüber nur eine Person pro Wohngebäude anzutreffen ist. In Tabelle 4.2.10 sind die Personenzahlen pro Wohnhaus gelistet.

**Tabelle 4.2.10: Personen pro Wohnhaus für jede Zeitkategorie**

	Winter - Februar		Sommer - August		Sommer - Mai	
	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
	W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01	S-N-02	S-T-02
Gebiet	Personen / Wohnhaus					
St. Anton	2,48	1,00	2,48	1,00	2,48	1,00
St. Jakob	2,48	1,00	2,48	1,00	2,48	1,00
Pettneu	2,85	1,00	2,85	1,00	2,85	1,00
Schnann	2,85	1,00	2,85	1,00	2,85	1,00
Flirsch	2,63	1,00	2,63	1,00	2,63	1,00

### **CAMPINGPLATZ**

Der Campingplatz befindet sich in Pettneu, direkt am rechten Ufer der Rosanna. Er bietet sowohl im Winter als auch im Sommer die Möglichkeit zu campen. Für eine genaue Beurteilung des Campingplatzes wird zunächst der Lageplan der Anlage herangezogen (siehe Abb. 4.13).



Abb. 4.13: Lageplan Campingplatz Pettneu<sup>270</sup>

Der Campingplatz bietet 145 Stellplätze und weitere 54 Wohnmobilplätze. Anhand des Lageplans ist gut zu erkennen, dass der Platz in drei Teile geteilt werden kann. Da sich auf dem großen Gebiet auch die Flutcharakteristika stark verändert, wird folgende Einteilung des Campingplatzes vorgenommen:

- Campingplatz A (Stellplätze 1 bis 89)
- Campingplatz B (Stellplätze 90 bis 140)
- Campingplatz C (Stellplätze 501 bis 554)

Um nun die Anzahl der Personen auf dem Campingplatz abzuschätzen wird angenommen, dass bei voller Belegung etwa 3 Personen pro Stellplatz anzutreffen sind. Der Campingplatz ist im Winter stärker ausgelastet als im Sommer, weshalb im Winter von einer Belegungsrate von 100 % ausgegangen wird sowie im Sommer von 50 %. Ähnlich wie bei den Unterkünften wird angenommen, dass tagsüber nur 5 % der Besucher am Campingplatz verweilen. Tabelle 4.2.11 zeigt die angenommenen Personenzahlen am Campingplatz für jede Zeitkategorie.

<sup>270</sup> Camping Arlberg Pettneu, URL: <http://www.camping-arlberg.at/de/camping/campingplatz.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Tabelle 4.2.11: Anzahl der Personen am Campingplatz für jede Zeitkategorie

	Winter - Februar		Sommer - August		Sommer - Mai	
	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
	W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01	S-N-02	S-T-02
<b>Campingplatz</b>	<b>Anzahl der Personen am Campingplatz</b>					
<b>A</b>	267,00	13,35	133,50	6,68	133,50	6,68
<b>B</b>	168,00	8,40	84,00	4,20	84,00	4,20
<b>C</b>	162,00	8,10	81,00	4,05	81,00	4,05

**ANDERE GEBÄUDE**

Für die restlichen Gebäude im Gebiet wird ebenfalls eine gewisse Anzahl an Personen, die sich darin aufhalten angenommen. Hier handelt es sich nicht um fundierte Werte, sondern um Schätzungen. Weiters wird versucht, auf die unterschiedlichen Zeitkategorien einzugehen. In Tabelle 4.2.12 ist die Anzahl der Personen, welche für die Berechnung verwendet wird, dargestellt.

Tabelle 4.2.12: Anzahl der Personen in den übrigen Gebäuden für jede Zeitkategorie

	Winter - Februar		Sommer - August		Sommer - Mai	
	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
	W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01	S-N-02	S-T-02
<b>Gebäude</b>	<b>Anzahl der Personen im Gebäude</b>					
<b>Schule</b>	0	250	0	0	0	250
<b>Volkschule</b>	0	100	0	0	0	100
<b>Kindergarten</b>	0	50	0	0	0	50
<b>Bahnhof</b>	5	10	5	10	5	10
<b>Seilbahn / Busbahnhof</b>	2	50	1	20	1	20
<b>Büro</b>	0	10	0	10	0	10
<b>Geschäft</b>	0	20	0	20	0	20
<b>Fußballplatz</b>	0	0	0	50	0	50
<b>Hallenbad</b>	0	100	0	50	0	50
<b>Lager</b>	0	1	0	1	0	1
<b>Wirtschaftsgebäude</b>	0,1	0	0	0,1	0	0,1
<b>Autowerkstatt</b>	0	20	0	20	0	20
<b>Umspannwerk</b>	0	5	0	5	0	5

**POPULATION AT RISK (PAR)**

Um nun die tatsächliche Bevölkerung im Überflutungsgebiet ermitteln zu können, wird jedes Gebäude innerhalb der Überflutungsgrenzen aufgezeichnet und einer Gebäudekategorie zugeteilt. Die Karte wird im Vorhinein so bearbeitet, dass besondere Gebäude, wie Hotels, Schulen oder Campingplätze sofort erkennbar sind. Beispielhaft ist in Abb. 4.14 die Situation in St. Anton dargestellt. Auf dieser Übersichtskarte sind die Gebäude in unterschiedlichen Farben dargestellt, um zu erkennen welcher Nutzung sie zugeordnet werden. Weiters sind die Grenzen der Überflutungsgebiete dargestellt, mit deren Hilfe die Gebäude aufgezeichnet

werden können. Dabei wird für jedes Gebäude deklariert, ob es vollständig Überflutet wird oder teilweise und von welcher Flutwelle. Tabelle 4.2.13 zeigt einen Ausschnitt der Aufnahme der betroffenen Gebäude. Insgesamt werden 331 Gebäude aufgenommen und hinsichtlich ihrer Nutzung bewertet. Es ist deutlich zu erkennen, dass in Abhängigkeit des Überflutungsszenarios unterschiedliche Gebäude betroffen sind.

**Tabelle 4.2.13: Auszug aus der Aufnahme der Gebäude im Überschwemmungsgebiet**

Fluss	Gebiet / Ortschaft	Gebäude	Anmerkungen	Dammbruchszenario			
				SmartU	BroichSmart	BroichMP	Pierce
Rosanna	St.Anton	Haus	Rosannaweg 1 / 3 Gebäude (Ein Wohngebäude plus Wirtschaftsgebäude)	X	X	X	X
Rosanna	St.Anton	Wirtschaftsgebäude	Wirtschaftsgebäude / Keine Bewohner	X	X	X	X
Rosanna	St.Anton	Haus	Rosannaweg 4	X	X	X	X
Rosanna	St.Anton	Haus	Rosannaweg 2	X	X	X	X
Rosanna	St.Anton	Wirtschaftsgebäude	Wirtschaftsgebäude / Keine Bewohner	X	X	X	X
Rosanna	St.Anton	Haus	Brandliweg 1	X		X	X
Rosanna	St.Anton	Ferienwohnung	Brandliweg 2	T		T	T
Rosanna	St.Anton	Haus	Ing.-Julius-Lott-Weg 2	X			X
Rosanna	St.Anton	Wirtschaftsgebäude	Wirtschaftsgebäude / Keine Bewohner / neben Ing.-Julius-Lott-Weg 2	X			X
Rosanna	St.Anton	Haus	Gassli 6	T			T
Rosanna	St.Anton	Seilbahn/Busbahnhof	Busbahnhof, Seilbahn und Tiefgarage	X	T	T	X
Rosanna	St.Anton	Hotel Garni	Dorfstraße 2				X
Rosanna	St.Anton	Hotel Garni	Dorfstraße 4				T
Rosanna	St.Anton	Hotel Garni	Dorfstraße 6				T
Rosanna	St.Anton	Haus	Dorfstraße 8				X
Rosanna	St.Anton	Haus	Dorfstraße 10				T
Rosanna	St.Anton	Haus	Dorfstraße 12				T
Rosanna	St.Anton	Haus	Dorfstraße 14				T



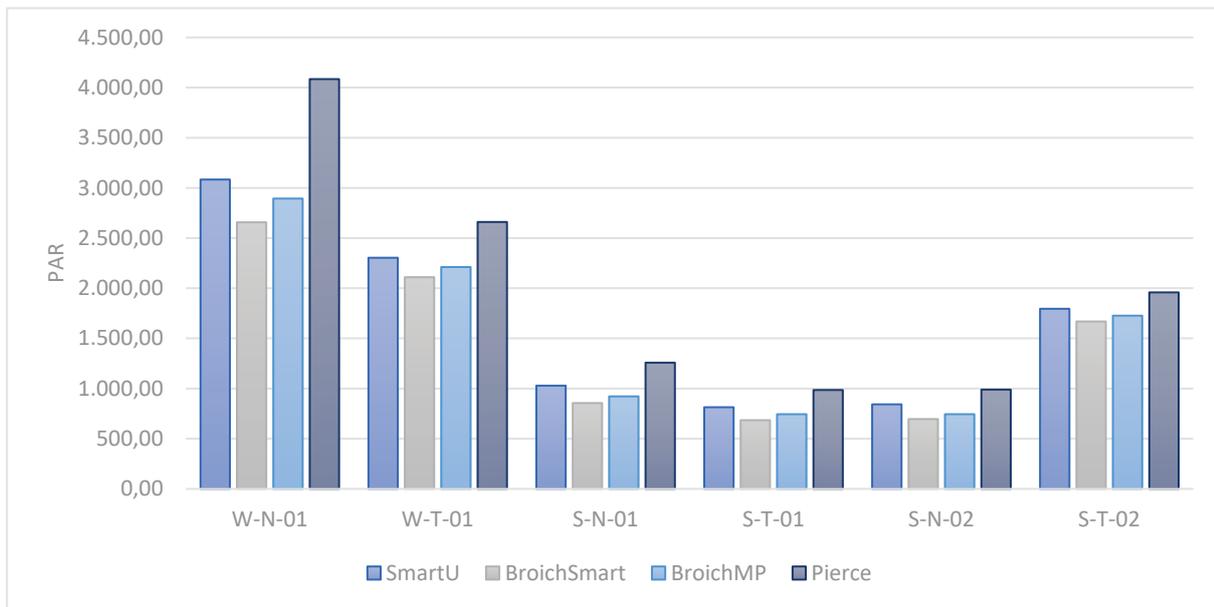
Abb. 4.14: Auszug aus der Übersichtskarte der Gebäudeklassen – St. Anton am Arlberg<sup>271</sup>

<sup>271</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

Durch kombinieren der Auswertung der Gebäude (Tabelle 4.2.13) und den ermittelten Personen für die unterschiedlichen Nutzungsklassen (Tabelle 4.2.8, Tabelle 4.2.9, Tabelle 4.2.10, Tabelle 4.2.11, Tabelle 4.2.12) kann für jede Zeitkategorie und Flutwelle die Anzahl der Personen im Überflutungsgebiet angegeben werden (siehe Tabelle 4.2.14 und Diagramm 4.6).

**Tabelle 4.2.14: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle**

	Winter - Februar		Sommer - August		Sommer - Mai	
	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
	W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01	S-N-02	S-T-02
<b>Flutwelle</b>	<b>PAR</b>					
<b>SmartU</b>	3.083,60	2.303,75	1.028,98	813,81	842,66	1.795,18
<b>BroichSmart</b>	2.657,31	2.110,20	855,46	684,74	695,97	1.668,79
<b>BroichMP</b>	2.893,85	2.211,24	922,00	744,28	744,42	1.726,52
<b>Pierce</b>	4.084,62	2.660,39	1.258,04	985,46	989,54	1.958,61



**Diagramm 4.6: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle**

In Diagramm 4.6 ist deutlich zu erkennen, dass die bei der Flutwelle „Pierce“ die meisten Personen betroffen sind. Des Weiteren ist erkennbar, dass die Anzahl der Personen im Überflutungsgebiet zwischen Tag und Nacht stark schwankt. Überraschend ist, dass bei der Berechnung der Zeitkategorien im Mai (S-N-02, S-T-02), im Gegensatz zu den anderen Zeitkategorien, tagsüber mehr Personen betroffen sind als in der Nacht. Dies liegt allerdings daran, dass bei dieser Zeitkategorie normaler Schulbetrieb herrscht und die Schulen somit die Anzahl der Personen im Überflutungsgebiet maßgeblich beeinflussen. Dies gilt allerdings auch für die Zeitkategorie im Winter, allerdings überwiegen hier eindeutig die Übernachtungen der Touristen.

**SCHRITT 6: ANWENDUNG VON EMPIRISCHEN FORMELN UM DIE ANZAHL DER OPFER ZU****BERECHNEN**

Für die Abschätzung der Opfer muss zunächst die Vorwarnzeit, das Verständnis der Schwere der Flut sowie die Schwere der Flut selbst definiert werden. Alle drei Parameter sind notwendig, um Tabelle 3.2.9 von Graham anwenden zu können.

***VORWARNZEIT UND VERSTÄNDNIS DER SCHWERE DER FLUT***

Die Vorwarnzeit wird mit Hilfe der Werte aus Tabelle 4.2.4 und den Ankunftszeiten der Flutwellen (siehe Tabelle 4.2.15) in den jeweiligen Ortschaften definiert. Das Verständnis der Schwere der Flut (vage oder präzise) erfolgte dabei nach der Definition von Graham, die besagt, dass das Verständnis nur dann präzise ist, wenn der Damm bereits versagt hat. Das heißt, dass Warnungen die bereits vor dem Versagen herausgegeben werden vage sind.

**Tabelle 4.2.15: Ankunftszeiten der Flutwellen in den jeweiligen Ortschaften in Minuten<sup>272</sup>**

Bezeichnung	SmartU	BroichSmart	BroichMP	Pierce
Moosbach / Rosanna	17	20	20	16
St.Anton	22	25	25	20
St.Jakob	28	33	32	26
Pettneu	36	44	43	34
Schnann	49	54	54	47
Flirsch	57	63	62	55
Modellgrenze	65	72	71	61

Aus diesen Daten ergeben sich die in Tabelle 4.2.16 dargestellten Vorwarnzeiten und Verständnisse der Schwere der Flut. Von der zuvor definierten Kategorie der Vorwarnzeit, bei der keine Warnung ausgesprochen wird (WT-Ref), wird kein Gebrauch gemacht, da dies auch bei keinen Beobachtern in der Nacht (WT-K-N) der Fall ist.

**Beispiel:**

Die in Tabelle 4.2.16 dargestellten Zeitpunkte an denen eine Warnung ausgesprochen wird ergeben sich aus den in Tabelle 4.2.4 definierten Werten und jener Zeit, bis die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht.

Im konkreten Fall bei der Flutwelle SmartU, keinen Beobachtern beim Damm in der Nacht ergibt sich folgendes Bild:

Laut Graham erfolgt die Warnung bei keinen Beobachtern beim Damm in der Nacht erst 60 Minuten nachdem besiedeltes Gebiet erreicht wurde. St. Anton ist die erste Ortschaft unterhalb des Damms und wird nach 22 Minuten von der Flutwelle erfasst. Das heißt, dass erste Warnungen erst 82 Minuten nach dem Versagen des Damms ausgesprochen werden.

<sup>272</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

In Tabelle 4.2.16 sind Warnzeiten die nach dem Versagen ausgesprochen werden als negative Werte angegeben.

**Tabelle 4.2.16: Vorwarnzeiten und Verständnis der Schwere der Flut**

Flutwelle	Ort	viele Beobachter				keine Beobachter			
		WT-B-T		WT-B-N		WT-K-T		WT-K-N	
		Tag	Verständnis	Nacht	Verständnis	Tag	Verständnis	Nacht	Verständnis
SmartU	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-37		-82	
	St.Anton	37	vage	7	präzise	-15	präzise	-60	präzise
	St.Jakob	43	vage	13	präzise	-9	präzise	-54	präzise
	Pettneu	51	vage	21	präzise	-1	präzise	-46	präzise
	Schnann	64	vage	34	präzise	12	präzise	-33	präzise
	Flirsch	72	vage	42	präzise	20	präzise	-25	präzise
BroichSmart	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-40		-85	
	St.Anton	40	vage	10	präzise	-12	präzise	-57	präzise
	St.Jakob	48	vage	18	präzise	-4	präzise	-49	präzise
	Pettneu	59	vage	29	präzise	7	präzise	-38	präzise
	Schnann	69	vage	39	präzise	17	präzise	-28	präzise
	Flirsch	78	vage	48	präzise	26	präzise	-19	präzise
BroichMP	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-40		-85	
	St.Anton	40	vage	10	präzise	-12	präzise	-57	präzise
	St.Jakob	47	vage	17	präzise	-5	präzise	-50	präzise
	Pettneu	58	vage	28	präzise	6	präzise	-39	präzise
	Schnann	69	vage	39	präzise	17	präzise	-28	präzise
	Flirsch	77	vage	47	präzise	25	präzise	-20	präzise
Pierce	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-35		-80	
	St.Anton	35	vage	5	präzise	-17	präzise	-62	präzise
	St.Jakob	41	vage	11	präzise	-11	präzise	-56	präzise
	Pettneu	49	vage	19	präzise	-3	präzise	-48	präzise
	Schnann	62	vage	32	präzise	10	präzise	-35	präzise
	Flirsch	70	vage	40	präzise	18	präzise	-27	präzise

### **Schwere der Flut**

Für die Schwere der Flut wird nur eine Einteilung in leichte und mittlere Schwere der Flut vorgenommen, da zum einen von Graham keine genauen Grenzwerte zur hohen Schwere der Flut angegeben wurden und zum anderen eine Hohe Schwere der Flut laut Graham nur direkt hinter dem Damm auftritt. Da allerdings auch für die definierte Grenze zwischen Leichter und Mittlerer Schwere der Flut mehrere Parameter existieren, wird die Einteilung durch folgende drei Parameter vorgenommen:

- $h$  (Wassertiefe)
  - Leicht:  $h < 3,0 \text{ m}$
  - Mittel:  $h \geq 3,0 \text{ m}$

- *DV* (Parameter nach Graham)
  - Leicht:  $DV < 4,6$
  - Mittel:  $DV \geq 4,6$
- *hv* (Äquivalent zu *DV*)
  - Leicht:  $hv < 4,6$
  - Mittel:  $hv \geq 4,6$

Anzumerken ist, dass der Parameter *hv* nicht aus der Arbeit von Graham stammt. Er wird eingeführt, um einen besseren Vergleich zwischen der Methode von Graham und Jonkman, welche sich auf den Parameter *hv* bezieht, zu ermöglichen. Um also die Schwere der Flut abschätzen zu können, wird an jedem Gebäude die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit der jeweiligen Flutwelle aufgezeichnet. Mit diesen Parametern kann die Einteilung nach den Parametern *h* und *hv* erfolgen. Für den Parameter *DV* wird das untersuchte Gebiet in 9 Sektoren aufgeteilt (siehe Abb. 4.15). Von jedem Sektor wird anschließend die maximale Breite des Überflutungsgebiets ermittelt und so die erste Einteilung in leichte und mittlere Schwere der Flut vorgenommen. Aufgrund der Definition des Parameters kann für Sektoren, bei denen bereits bei der maximalen Breite des Überflutungsgebiets eine mittlere Schwere der Flut ermittelt wird, diese für den gesamten Sektor angenommen werden. Nur für Sektoren bei denen eine leichte Schwere der Flut ermittelt wird, muss die Breite des Überflutungsgebiets bei jedem Gebäude ermittelt werden. Auf diesen Weg kann für alle drei Parameter zwischen leichter und mittlerer Schwere der Flut unterschieden werden. Tabelle 4.2.17 zeigt einen Auszug der so ermittelten Schwere der Flut bei der Flutwelle nach Pierce. Es ist zu erkennen, dass die Schwere der Flut, in Abhängigkeit des verwendeten Parameters, unterschiedlich eingeschätzt wird. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den anderen Flutwellen.

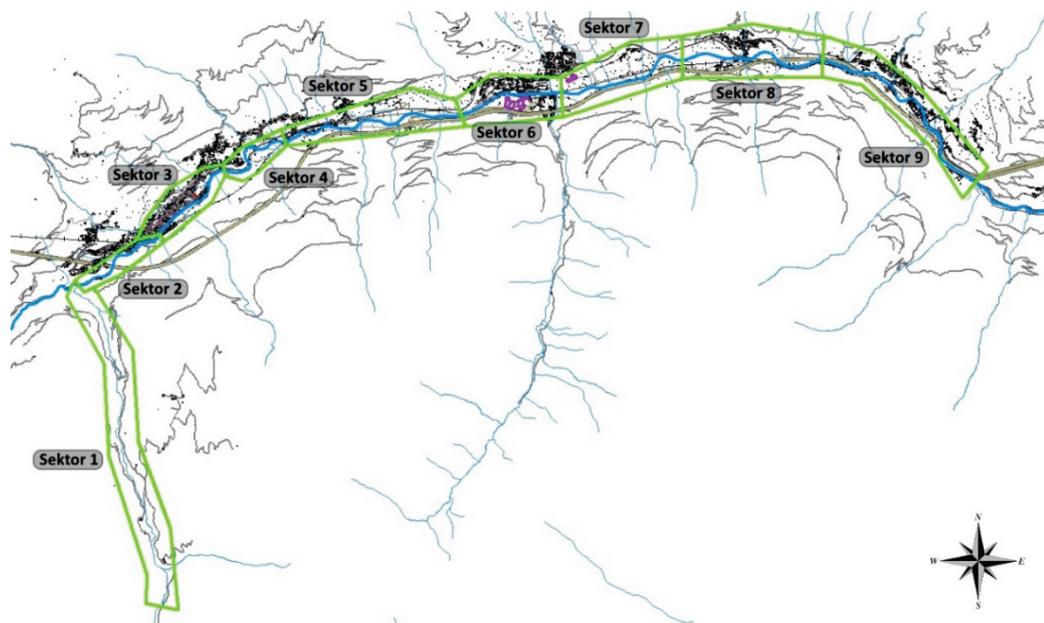


Abb. 4.15: Übersicht der Sektoren zur Ermittlung der Schwere der Flut<sup>273</sup>

<sup>273</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

Tabelle 4.2.17: Auszug aus der Einteilung der Schwere der Flut bei der Flutwelle nach Pierce

Sektor	Gebiet / Ortschaft	Bauwerk	Tiefe	Geschwindigkeit	Schwere der Flut nach Wassertiefe	Schwere der Flut nach $h_v$	Schwere der Flut nach $DV$
1	-	keine					
2	St.Anton	Haus	4,5	16	M	M	M
2	St.Anton	Wirtschaftsgebäude	4	12,5	M	M	M
2	St.Anton	Haus	7,6	6,2	M	M	M
2	St.Anton	Haus	8	7,5	M	M	M
2	St.Anton	Wirtschaftsgebäude	6,3	2,4	M	M	M
2	St.Anton	Haus	1,7	2	L	L	M
2	St.Anton	Ferienwohnung	3,6	4	M	M	M
2	St.Anton	Haus	0,6	4,7	L	L	M
2	St.Anton	Wirtschaftsgebäude	1,1	3,7	L	L	M
3	St.Anton	Haus	1,6	5,8	L	M	M
3	St.Anton	Seilbahn/Busbahnhof	3	9,5	M	M	M
3	St.Anton	Hotel Garni	1	4,7	L	M	M
3	St.Anton	Hotel Garni	0,3	0,8	L	L	M
3	St.Anton	Hotel Garni	0,3	0,8	L	L	M
3	St.Anton	Haus	0,4	1,4	L	L	M
3	St.Anton	Haus	0,3	1,8	L	L	M
3	St.Anton	Haus	0,2	1	L	L	M
3	St.Anton	Haus	1	2,6	L	L	M

**OPFERRATE**

In Abhängigkeit der angeführten Parameter kann nun die Opferrate ermittelt werden. Die Opferrate wird dabei wieder für jedes aufgenommene Gebäude einzeln definiert und so die Opfer in jedem Gebäude ermittelt. Die Opfer werden für die unterschiedlichen Parameter der Schwere der Flut sowie für jede Zeitkategorie und Vorwarnkategorie ermittelt. Dabei ergeben sich für jede simulierte Flutwelle 36 Kombinationsmöglichkeiten, was in Summe zu 144 unterschiedlichen Einschätzungen der Opfer führt. Abb. 4.16 zeigt exemplarisch einen möglichen Kombinationspfad.

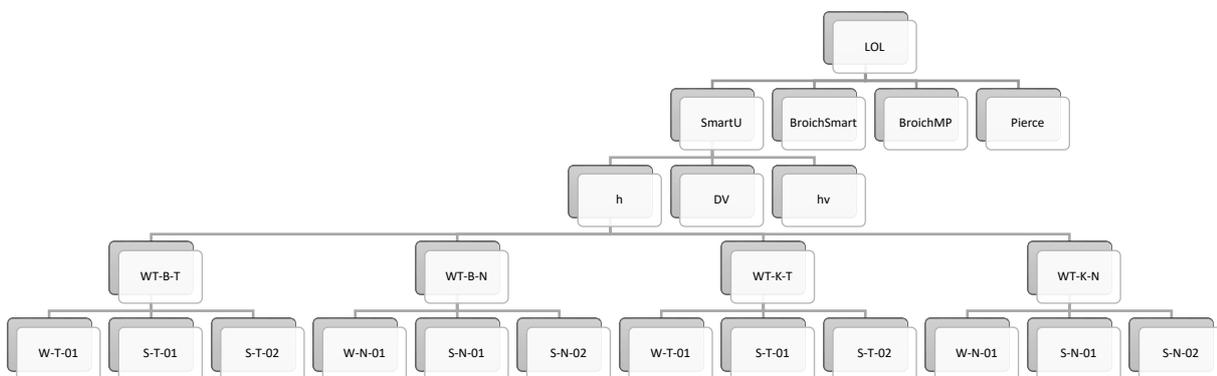


Abb. 4.16: Exemplarische Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten für SmartU und h als Parameter der Schwere der Flut

**ANZAHL DER OPFER (LOL)**

Nach der Auswertung der Opfer für jedes überflutete Gebäude kann, auch die gesamte Opferzahl ermittelt werden. Im folgenden Unterkapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen, gegliedert nach der jeweiligen Zeitkategorie dargestellt.

**WINTER**

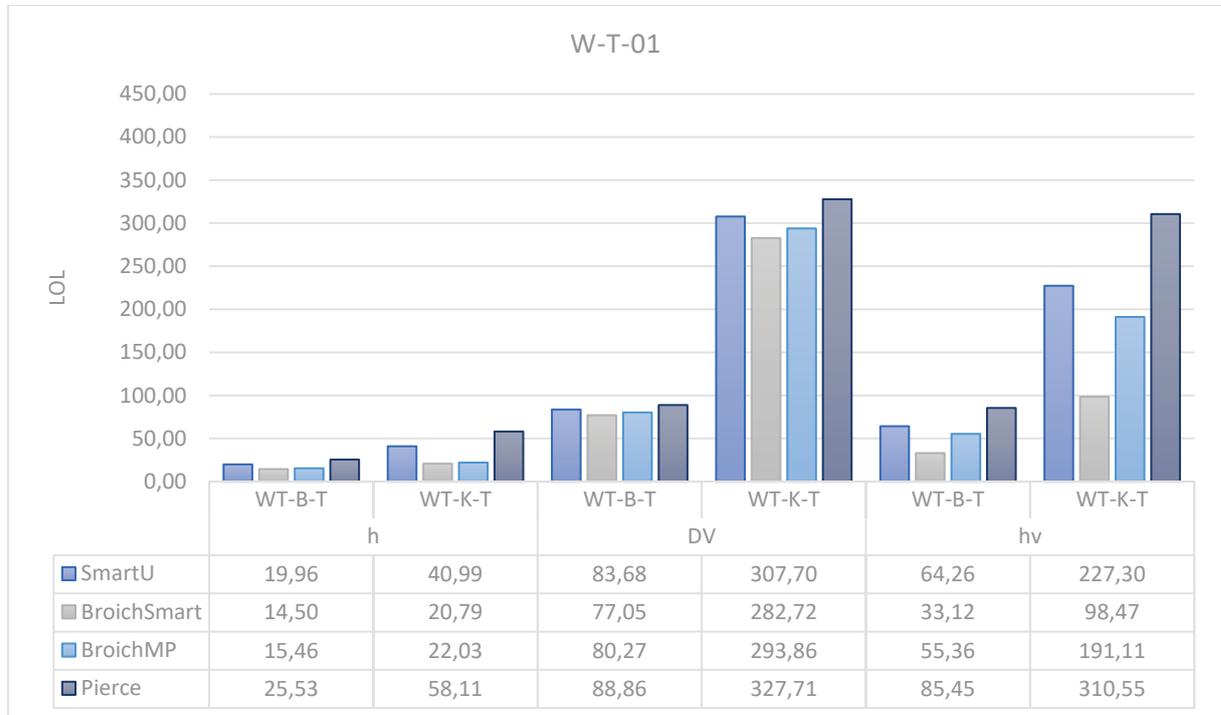


Diagramm 4.7: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Winter nach Graham

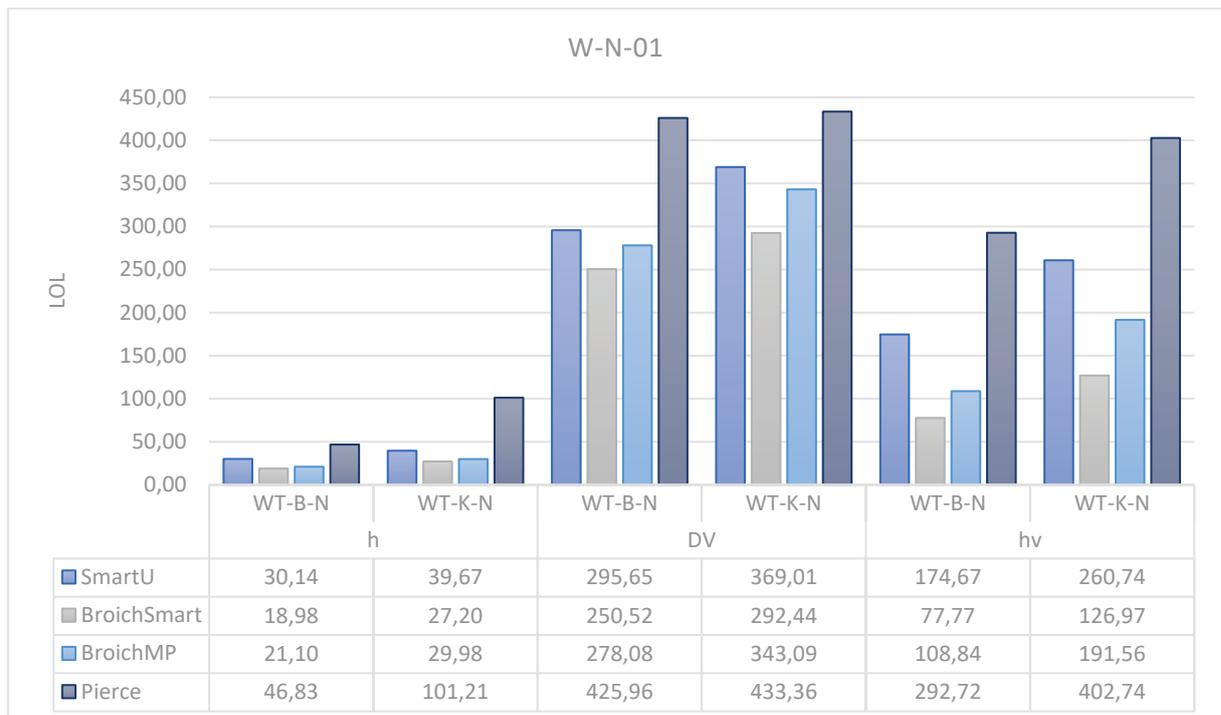


Diagramm 4.8: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Graham

Bei einer Gegenüberstellung von Diagramm 4.7 und Diagramm 4.8 ist zu erkennen, dass die Opferzahlen in der Nacht deutlich höher liegen (der maximale Wert in der Nacht liegt bei 433,36 und am Tag bei 327,71). Dieser Unterschied ist allerdings wenig überraschend, da davon ausgegangen wird, dass die Hotels tagsüber mehr oder weniger leer sind.

Ein weiteres interessantes Ergebnis ergibt sich durch die Betrachtung der Vorwarnkategorien, bei denen zwischen vielen Beobachtern und keinen Beobachtern beim Damm unterschieden wird. Es ist deutlich zu erkennen, dass diese Unterscheidung tagsüber einen größeren Einfluss hat als nachts. Auch dieses Ergebnis scheint logisch, wenn berücksichtigt wird, dass Warnungen in der Nacht prinzipiell länger benötigen um alle zu erreichen.

Werden nun auch noch die unterschiedlichen Parameter der Schwere der Flut betrachtet, ist zu sehen, dass mit dem Parameter der Wassertiefe, die Schwere der Flut deutlich unterschätzt wird. Die Opferzahlen liegen bei diesem Parameter deutlich unter denen der anderen Parameter. Dieses Ergebnis mag sich nicht in jedem Gebiet so zeigen. Abhängig davon, ob die Wassertiefe oder die Fließgeschwindigkeit maßgebend ist, sollte eine ausschließliche Betrachtung anhand der Wassertiefe immer hinterfragt werden. Im Fall von St. Anton zeigt sich etwa, dass sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auftreten und dadurch der Parameter der Wassertiefe nicht aussagekräftig erscheint.

Der Parameter  $DV$  dürfte für eine erste grobe Einschätzung der Opferzahlen besser geeignet sein als die Wassertiefen. Der Parameter ist schnell und mit geringem Aufwand zu ermitteln. Des Weiteren wird auch bei diesem Parameter die Fließgeschwindigkeit nur indirekt berücksichtigt.

Der letzte Parameter  $h_v$ , sollte die Opferzahlen am besten abschätzen. Bei diesem Parameter wird die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit bei jedem Gebäude berücksichtigt. Das heißt, dass bei jedem Gebäude die Schwere der Flut individuell berechnet wird. Der Nachteil an diesem Parameter ist allerdings klar der hohe Arbeitsaufwand, welcher gerade für eine erste Abschätzung nicht gerechtfertigt erscheint.

Werden nun die unterschiedlichen Flutwellen betrachtet, sind auch hier Unterschiede zu erkennen. Die berechnete Flutwelle „Pierce“ ergibt dabei sowohl am Tag als auch in der Nacht die höchsten Opferzahlen. Dieser Umstand ist klar auf den größeren Spitzenabfluss der Flutwelle und der größeren Anzahl an Personen im Überflutungsgebiet (siehe Tabelle 4.2.14) zurückzuführen. Um die Flutwellen miteinander zu vergleichen sollte als die Opferraten anstelle der Opferzahlen betrachtet werden.

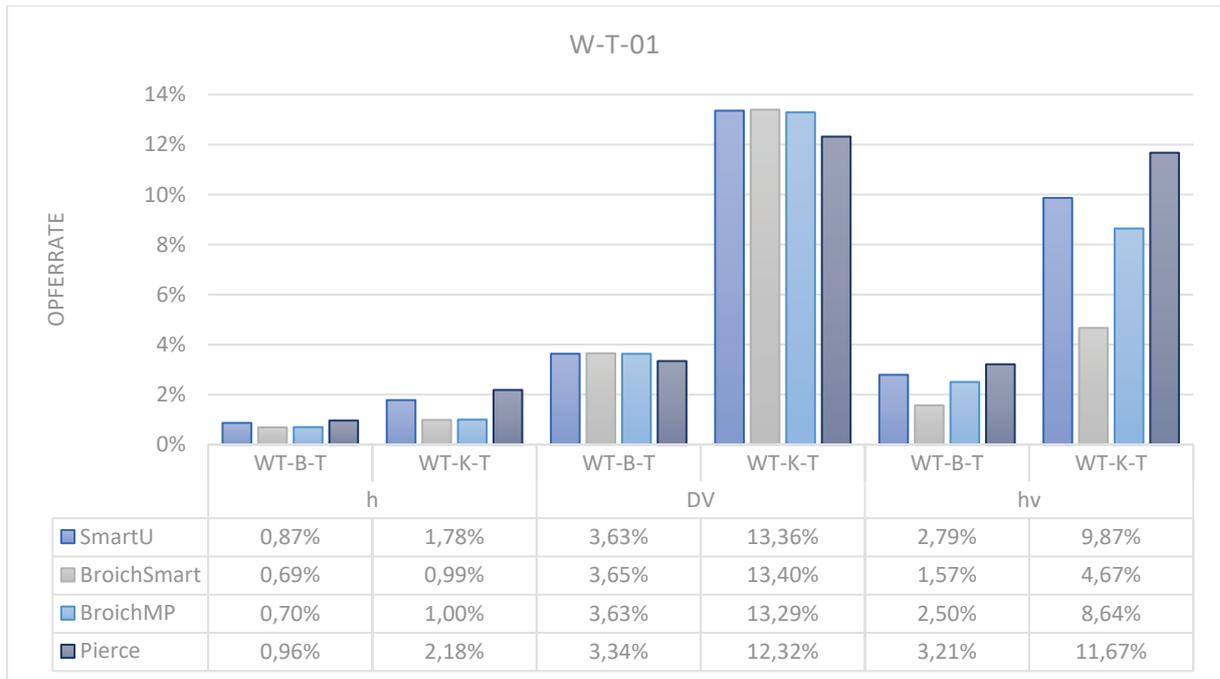


Diagramm 4.9: Opferrate am Tag im Winter nach Graham

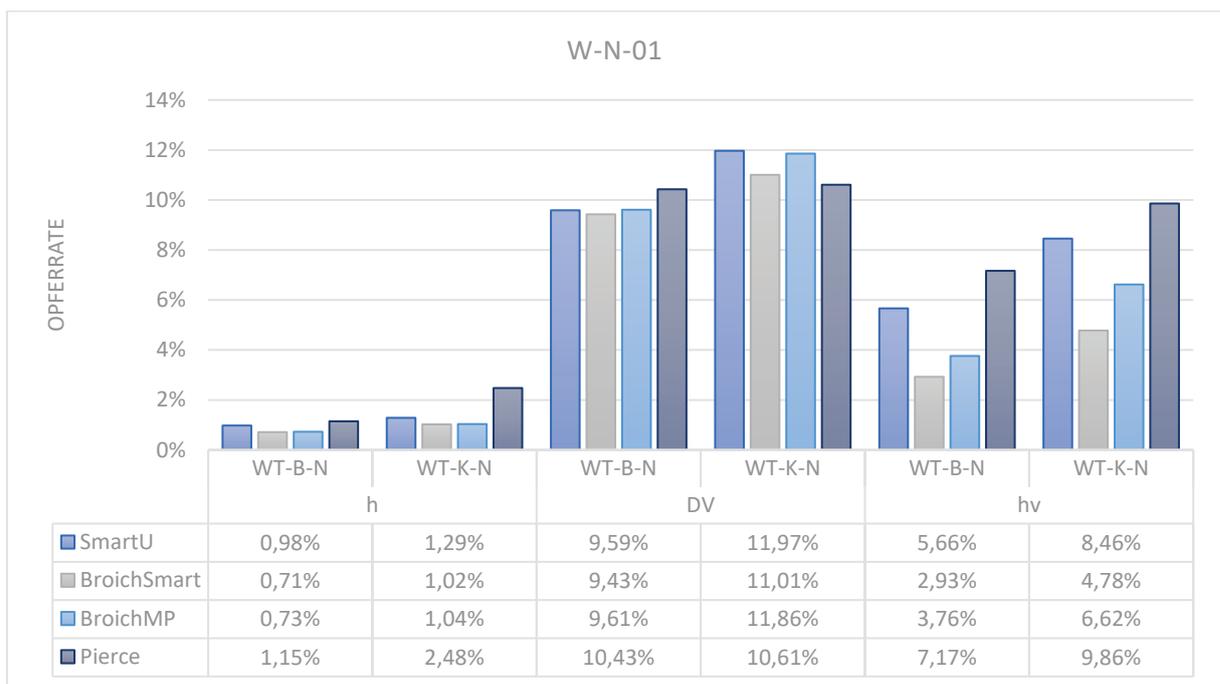
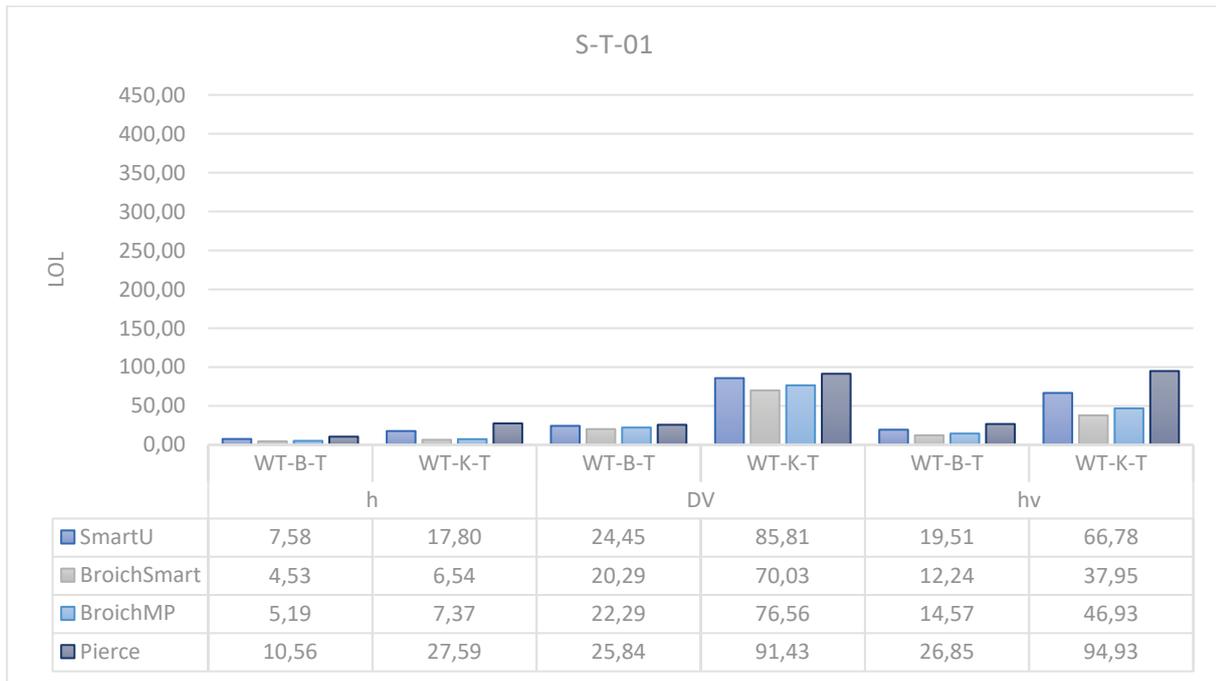


Diagramm 4.10: Opferrate in der Nacht im Winter nach Graham

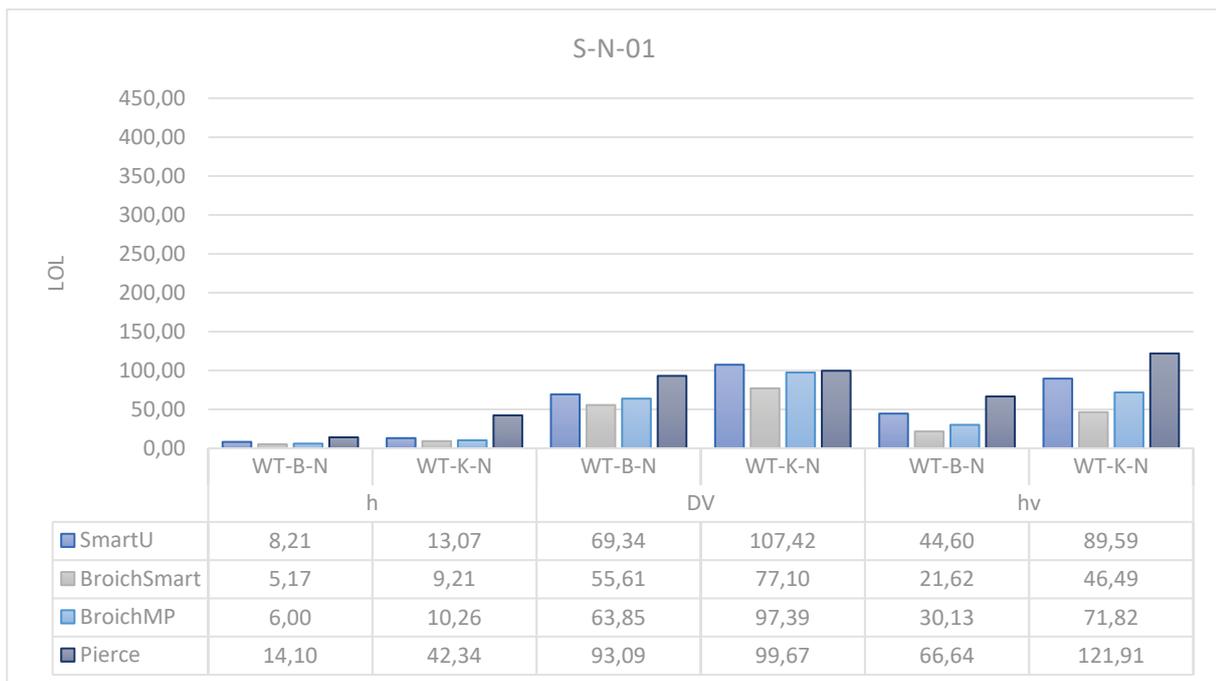
Bei der Betrachtung der Opferraten (siehe Diagramm 4.9 und Diagramm 4.10), ist zu erkennen, dass diese weitaus ausgeglichener ausfällt als die Anzahl der Opfer. Bei den Parametern  $h$  und  $DV$  sind die Unterschiede der einzelnen Flutwellen sichtbar, allerdings sind diese, vor allem beim Parameter  $DV$ , deutlich kleiner als die Zahl der Opfer vermuten lässt. Nur beim Parameter  $hv$  sind die Unterschiede noch immer sehr groß. Die logische Schlussfolgerung daraus ist, dass, weil der Parameter  $hv$  die genauesten Werte beinhaltet, dieser auch die unterschiedlichen Bedingungen der Flutwellenszenarien am besten wiedergibt und dadurch auch die Opferraten den größten Schwankungen unterliegen.

Interessant ist auch, dass der Fall mit den meisten Todesopfern, bei DV mit „Pierce“, die Opferrate teilweise sogar geringer ausfällt als bei den anderen Flutwellen. Dies kann dadurch begründet sein, dass es sich bei diesem Parameter um eine grobe Einteilung des Gebiets handelt. Das heißt, dass eventuell lokale Spitzenwerte der Fließgeschwindigkeit oder Wassertiefe nicht berücksichtigt werden, was in Unterschieden in den Opferraten resultieren kann.

**SOMMER - AUGUST**

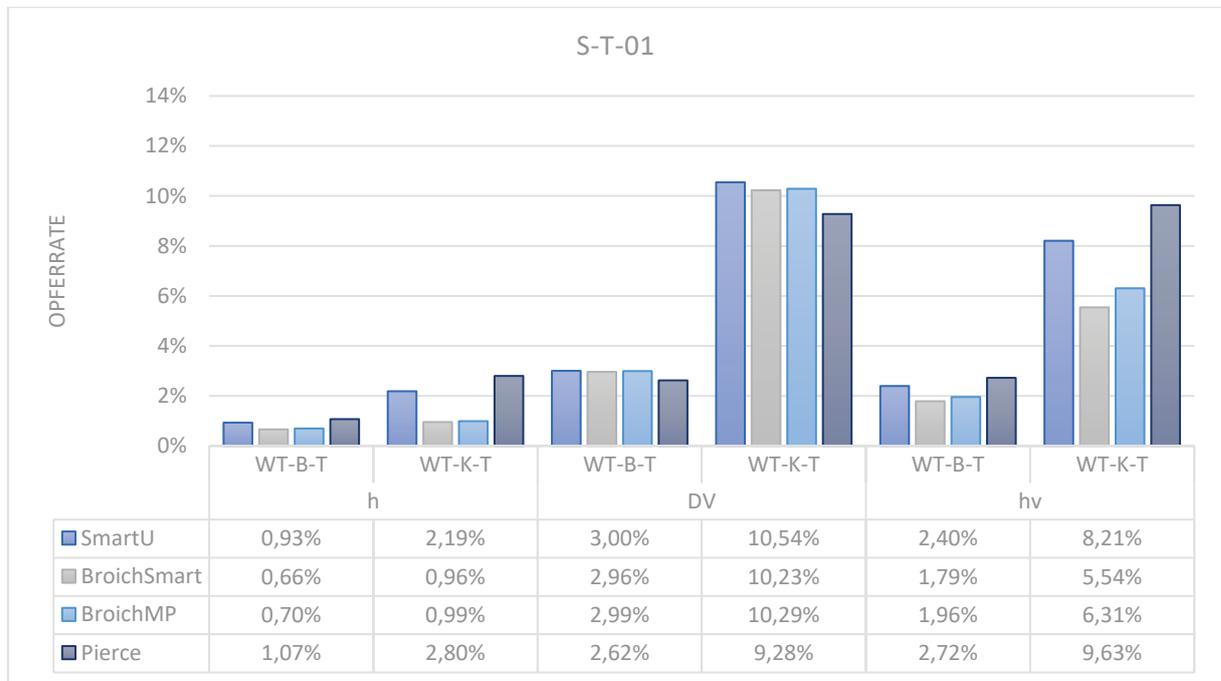


**Diagramm 4.11: Opferzahlen am Tag im August nach Graham**

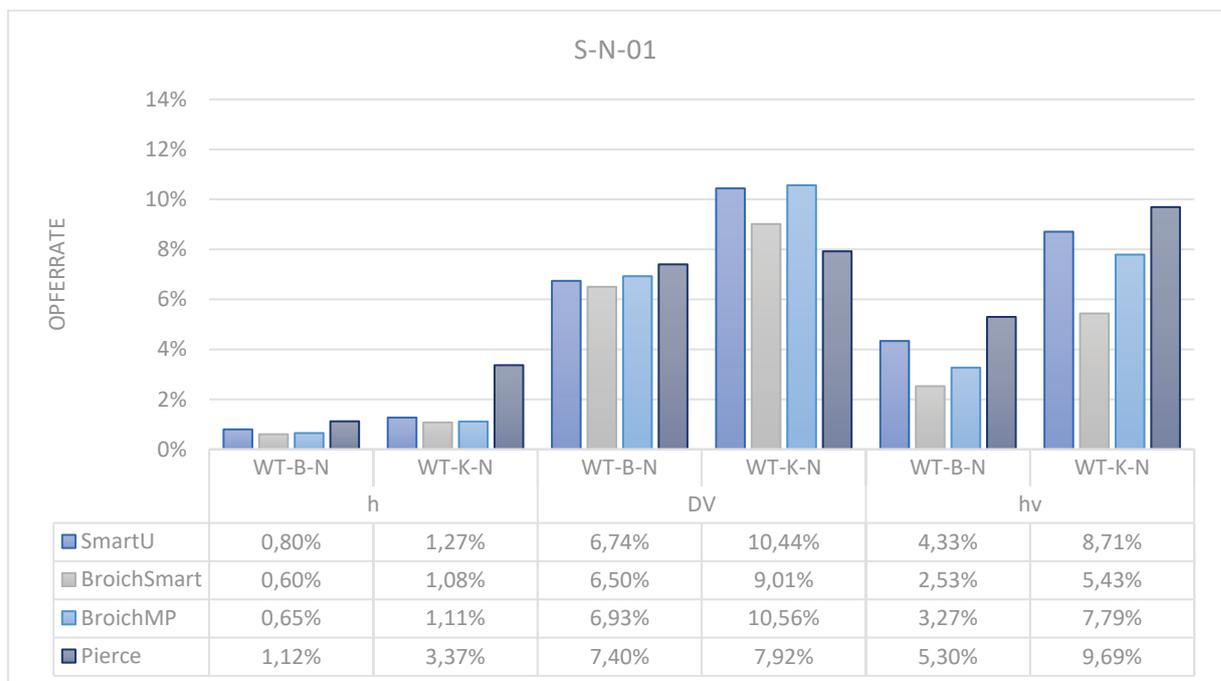


**Diagramm 4.12: Opferzahlen in der Nacht im August nach Graham**

Auf den ersten Blick ist in Diagramm 4.11 und Diagramm 4.12 ist zu erkennen, dass die Opferzahlen deutlich geringer sind als im Winter. Im Übrigen zeigt sich ein sehr ähnliches Bild wie im Winter (siehe Diagramm 4.7 und Diagramm 4.8). Wieder ist zu erkennen, dass die Wassertiefe als Parameter für die Schwere der Flut ein deutlich geringeres Ergebnis zeigt und der Parameter DV eine sehr gute Abschätzung darstellt.



**Diagramm 4.13: Opferrate am Tag im August nach Graham**

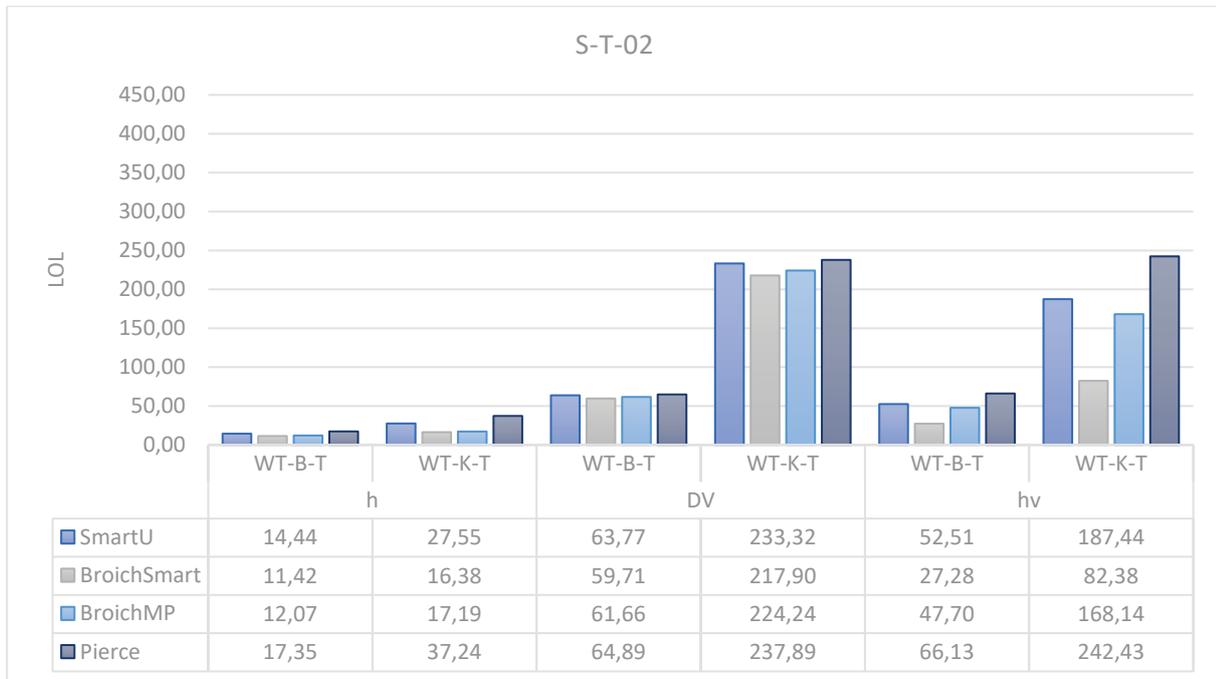


**Diagramm 4.14: Opferrate in der Nacht im August nach Graham**

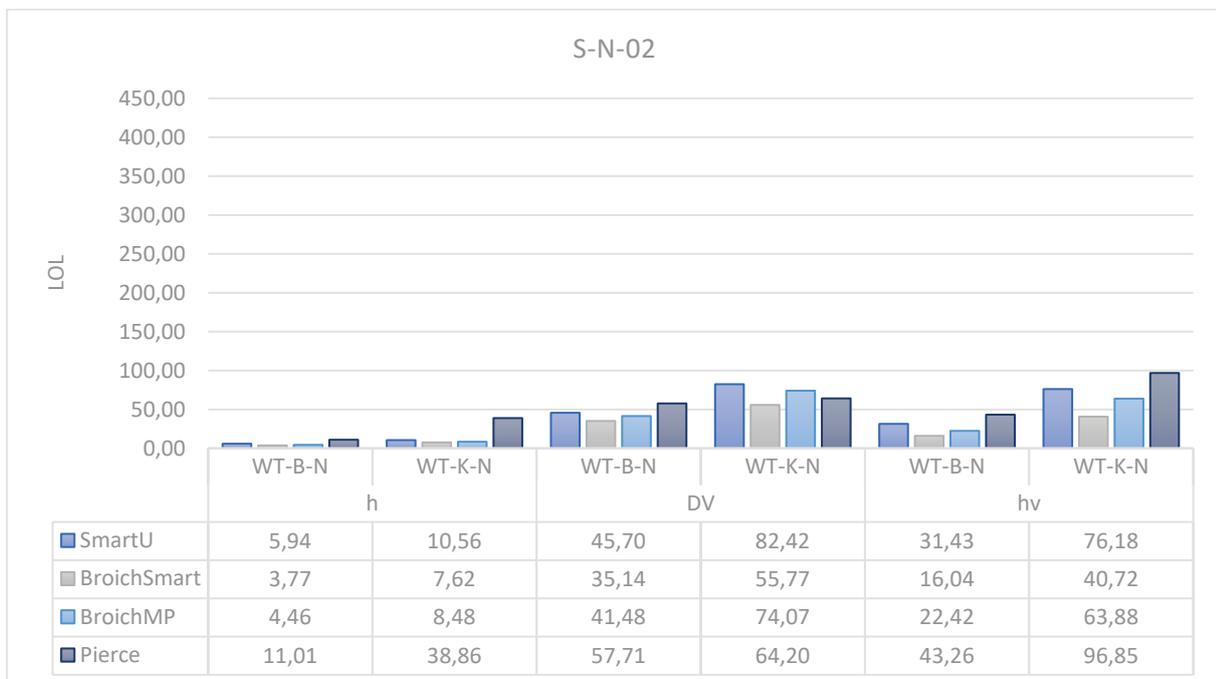
Wie zuvor im Winter (siehe Diagramm 4.9 und Diagramm 4.10) ist auch in Diagramm 4.13 und Diagramm 4.14 wieder zu erkennen, dass die Opferrate tagsüber viel ausgeglichener ist als

die Opferzahlen. Nachts schwanken bei dieser Zeitkategorie auch die Opferzahlen. Des Weiteren fallen die Opferraten für Tag und Nacht sehr ähnlich aus. Der Unterschied in der Anzahl der Opfer lässt sich auf die zuvor definierten Personen um Überflutungsgebiet (PAR) zurückführen.

**SOMMER - MAI**



**Diagramm 4.15: Opferzahlen am Tag im Mai nach Graham**



**Diagramm 4.16: Opferzahlen in der Nacht im Mai nach Graham**

Bei der Betrachtung von Diagramm 4.15 und Diagramm 4.16 zeigt sich nun ein entgegengesetztes Bild als bei den vorherigen Zeitkategorien. Hier liegen die Opferzahlen am

Tag deutlich über jenen in der Nacht. Eine Erklärung für diese Tatsache ist, dass der Einfluss der Touristen auf die Opferzahlen nur mehr gering ist und im Gegensatz zu der Zeitkategorie im August (siehe Diagramm 4.11 und Diagramm 4.12), die Schulen und Kindergärten voll sind. In St. Anton befindet sich die Hauptschule und der Kindergarten direkt im Überschwemmungsgebiet, was das Ergebnis stark beeinflusst.

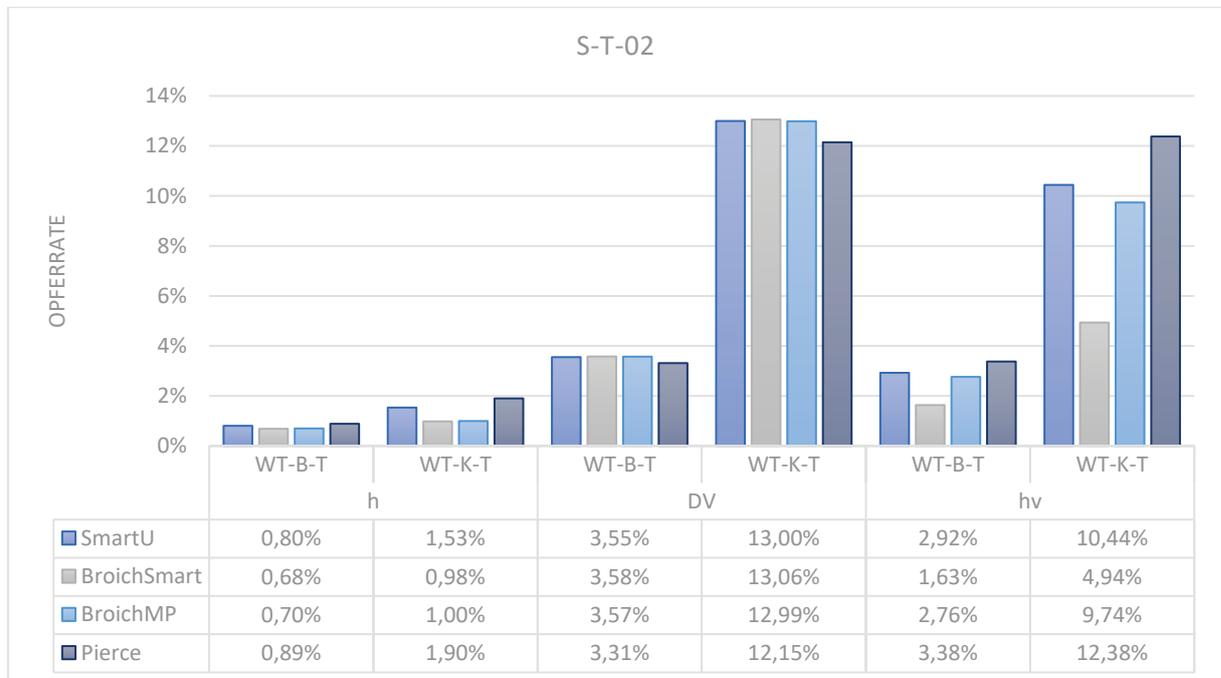


Diagramm 4.17: Opferrate am Tag im Mai nach Graham

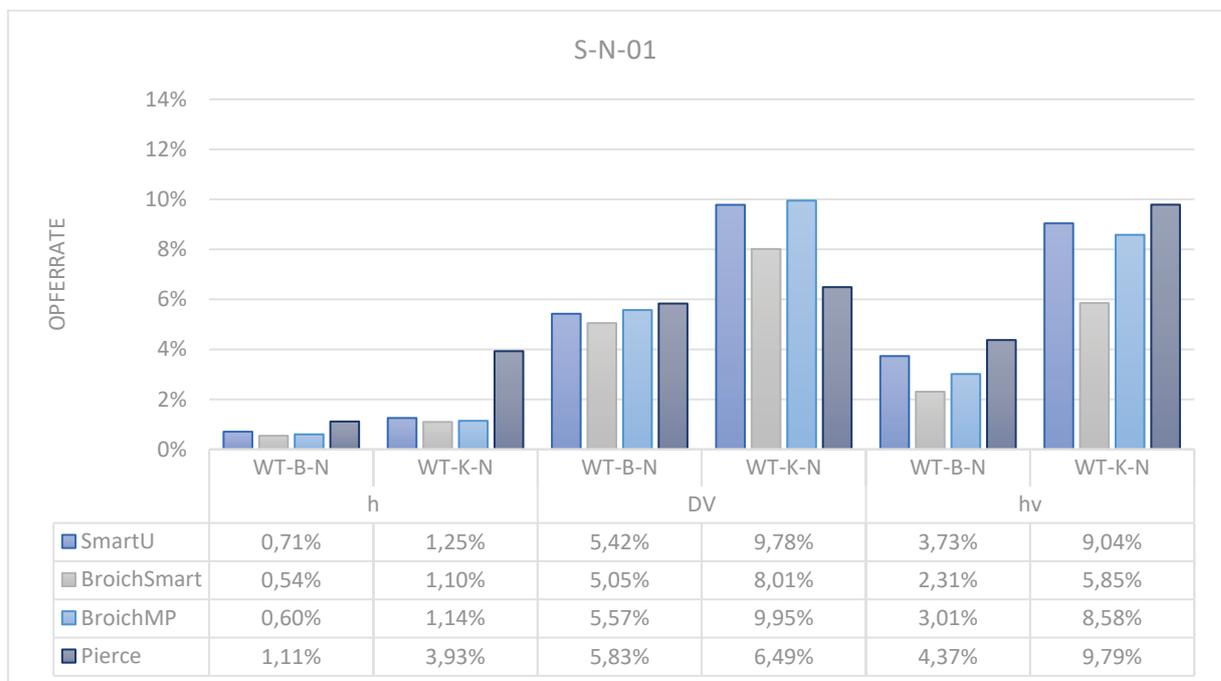


Diagramm 4.18: Opferrate in der Nacht im Mai nach Graham

Bei den Opferraten zeigt sich wiederum ein ähnliches Bild wie im August (siehe Diagramm 4.13 und Diagramm 4.14). Lediglich der Unterschied bei den Opferraten zwischen Tag und

Nacht ist größer. Dieses Verhalten ist wiederum auf die zuvor angesprochenen Schulen zurückzuführen.

#### OPFER NACH ORTSCHAFTEN GEGLIEDERT

Werden nun die Ortschaften für sich betrachtet, fällt auf, dass bei allen Flutwellen und Zeitkategorien etwa 90 % aller Personen im Überflutungsgebiet aus St. Anton oder Pettneu stammen (siehe Tabelle 4.2.18).

Tabelle 4.2.18: PAR nach Ortschaften gegliedert

	Ortschaft	Winter - Februar		Sommer - August		Sommer - Mai	
		Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
		W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01	S-N-02	S-T-02
<b>SmartU</b>	St.Anton	1.857,21	1.764,06	413,95	374,23	260,72	1.358,91
	St.Jakob	35,16	89,77	7,57	82,11	4,66	81,82
	Pettneu	1.152,28	350,39	574,76	258,57	545,28	255,62
	Schnann	2,85	56,80	2,85	56,80	2,85	56,80
	Flirsch	36,10	42,72	29,85	42,10	29,16	42,03
	<b>Summe</b>	<b>3.083,60</b>	<b>2.303,75</b>	<b>1.028,98</b>	<b>813,81</b>	<b>842,66</b>	<b>1.795,18</b>
<b>BroichSmart</b>	St.Anton	1.623,21	1.672,28	346,83	323,64	211,34	1.310,09
	St.Jakob	6,09	56,86	2,96	56,55	2,61	56,51
	Pettneu	997,92	293,90	478,71	217,70	455,40	215,37
	Schnann	2,85	56,80	2,85	56,80	2,85	56,80
	Flirsch	27,24	30,36	24,12	30,05	23,77	30,01
	<b>Summe</b>	<b>2.657,31</b>	<b>2.110,20</b>	<b>855,46</b>	<b>684,74</b>	<b>695,97</b>	<b>1.668,79</b>
<b>BroichMP</b>	St.Anton	1.784,21	1.732,55	389,87	357,41	241,78	1.342,60
	St.Jakob	35,16	69,57	7,57	61,91	4,66	61,62
	Pettneu	1.035,53	309,60	491,86	226,06	465,98	223,47
	Schnann	2,85	56,80	2,85	56,80	2,85	56,80
	Flirsch	36,10	42,72	29,85	42,10	29,16	42,03
	<b>Summe</b>	<b>2.893,85</b>	<b>2.211,24</b>	<b>922,00</b>	<b>744,28</b>	<b>744,42</b>	<b>1.726,52</b>
<b>Pierce</b>	St.Anton	2.663,11	2.038,36	584,04	496,75	363,11	1.474,66
	St.Jakob	169,08	138,41	29,79	104,88	14,96	103,40
	Pettneu	1.192,73	367,10	590,76	267,93	558,70	264,72
	Schnann	2,85	56,80	2,85	56,80	2,85	56,80
	Flirsch	56,86	59,72	50,60	59,10	49,92	59,03
	<b>Summe</b>	<b>4.084,62</b>	<b>2.660,39</b>	<b>1.258,04</b>	<b>985,46</b>	<b>989,54</b>	<b>1.958,61</b>

Diagramm 4.19 und Diagramm 4.20 zeigen exemplarisch die Opferzahlen und Opferraten nach Ortschaften gegliedert in der Nacht im Winter. Des Weiteren ist in diesen Diagrammen der Unterschied zwischen vielen und keinen Beobachtern beim Damm ersichtlich. Es ist zu erkennen, dass in St. Anton in beiden Szenarien keine Warnung erfolgt bzw. die Vorwarnzeit geringer als 15 Minuten ist. Erst ab Pettneu ist ein Unterschied zwischen den beiden Szenarien erkennbar. Das heißt, dass hier Warnungen bereits effektiv wirken. St. Jakob liegt dabei genau im Grenzgebiet und es ist abhängig von der simulierten Flutwelle, ob Warnungen wirken oder

nicht. Die grüne Linie in Diagramm 4.20 zeigt den Prozentsatz an Personen, die potentiell durch Warnungen gerettet werden könnten. Die hohe Opferrate in der Ortschaft Schnann ist daraus begründet, dass hier im Wesentlichen nur ein Haus mit einer mittleren oder leichten Schwere der Flut getroffen wird.

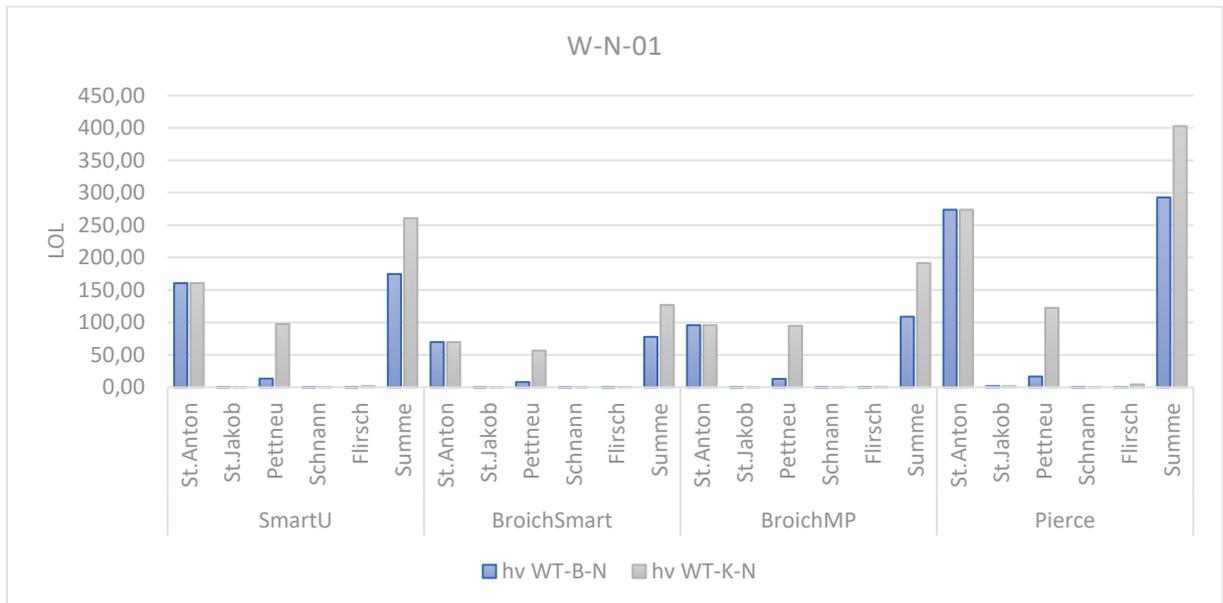


Diagramm 4.19: Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Ortschaften gegliedert

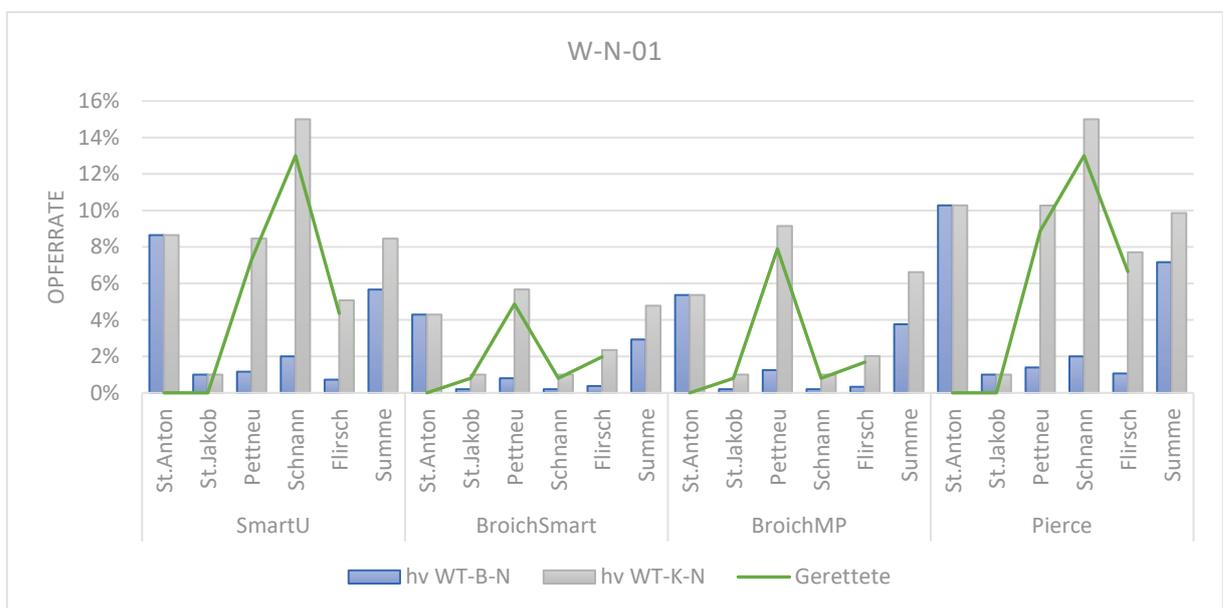


Diagramm 4.20: Opferraten in der Nacht im Winter nach Ortschaften gegliedert

#### 4.2.4.2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON GRAHAM

Die Ergebnisse der Berechnungen nach Graham zeigen in jeder Zeitkategorie vergleichbare Ergebnisse, wobei sich lediglich die Größenordnung der Opferzahlen unterscheidet. Festzustellen ist, dass bei Verwendung des Parameters *DV* durchwegs die größten Opferzahlen ermittelt werden. Auch bei Betrachtung der Flutwellen ist zu erkennen, dass die

Flutwellensimulation „*Pierce*“ die größten Opferzahlen verursacht. Diese Tatsache ist auf den höchsten Spitzenabfluss der Flutwelle zurückzuführen.

In den Ergebnissen zeigt sich, wie wichtig die Einteilung unterschiedlicher Zeitkategorien ist. Zu Beginn der Berechnungen wird die dritte Zeitkategorie „*Sommer – Mai*“ eingeführt, um die minimale Opferzahl zu ermitteln. Diese Annahme trifft allerdings nur auf die Berechnung in der Nacht zu. Es zeigt sich, dass für diese Zeitkategorie am Tag wesentlich höhere Opferzahlen zu erwarten sind als in der anderen Zeitkategorie im Sommer („*Sommer – August*“). Dabei ist auch zu erkennen, dass die Zeitkategorie „*Sommer – Mai*“ die einzige ist, bei der die Opferraten am Tag größer sind als in der Nacht. Dies liegt an der betroffenen Schule in St. Anton, welche in dieser Zeitkategorie voll belegt ist. Selbes trifft auch auf die Zeitkategorie „*Winter*“ zu, allerdings überwiegt in dieser Zeitkategorie die Anzahl der Touristen, weshalb die Schule nur einen untergeordneten Einfluss auf das Ergebnis hat.

Auch die unterschiedliche Berücksichtigung der Beobachter bei der Stauanlage zeigt für alle Zeitkategorien einen ähnlichen Trend. Dabei ist festzustellen, dass die Opferraten bei keinen Beobachtern bei der Stauanlage deutlich größer ausfallen als bei vielen Beobachtern. Weiters ist erkennbar, dass die Opferzahlen am Tag, durch diese Einteilung, deutlich stärker beeinflusst wird als in der Nacht. Dies liegt an den unterschiedlichen Vorwarnzeiten am Tag und in der Nacht. In Tabelle 4.2.4 ist zu erkennen, dass am Tag mehr Zeit für die Vorwarnung zur Verfügung steht als in der Nacht.

### 4.2.5 JONKMAN METHODE

Im folgenden Kapitel wird die Methode nach Jonkman wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben, Schritt für Schritt am Fallbeispiel St. Anton am Arlberg angewendet.

#### **SCHRITT 1: SIMULATION DER FLUTCHARAKTERISTIKA**

Als Eingangsdaten dienen bei dieser Methode dieselben Flutwellensimulationen, wie bei der Methode nach Graham (siehe Kapitel 4.2.3).

- SmartU Spitzenabfluss  $Q_p = 1.943,38 \text{ m}^3/\text{s}$
- BroichSmart Spitzenabfluss  $Q_p = 1.264,96 \text{ m}^3/\text{s}$
- BroichMP Spitzenabfluss  $Q_p = 1.508,70 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pierce Spitzenabfluss  $Q_p = 3.010,34 \text{ m}^3/\text{s}$

Neben den Parametern der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit, welche direkt aus den simulierten Flutwellen abgeleitet werden können, ist zusätzlich die Wasseranstiegsrate ein wichtiger Parameter der Methode. Da aus den vorhandenen Daten die Wasseranstiegsrate nicht direkt abgelesen werden kann, wird dies, wie von Jonkman<sup>274</sup> beschrieben, indirekt über die Darstellung der Wassertiefe über die Zeit vorgenommen. Diese Berechnung konnte für 5 relevante Pegelpunkte durchgeführt werden (PP2 – PP6). Die Stationierung der Pegelpunkte ist in Tabelle 4.2.19 angegeben und der berechnete Wasseranstieg für die jeweiligen Ortschaften ist in den Diagramm 4.2.1 bis Diagramm 4.2.5 abgebildet. Aus den Werten der Diagramme kann nun jene Zeit, die das Wasser benötigt um 1,5 m zu steigen, berechnet werden (siehe Tabelle 4.2.20)

**Tabelle 4.2.19: Positionierung der Pegelpunkte<sup>275</sup>**

Pegelpunkt	Stationierung	Bezeichnung
PP1	km 16.900	Einmündung Moosbach Rosanna
PP2	km 15.000	St. Anton am Arlberg
PP3	km 12.000	St. Jakob am Arlberg
PP4	km 9.000	Pettneu
PP5	km 5.500	Schnann
PP6	km 3.100	Flirsch
PP7	km 0.000	Modellgrenze

<sup>274</sup> JONKMAN S. N.: Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, 2007

<sup>275</sup> DÜNKNER René: Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, 2017

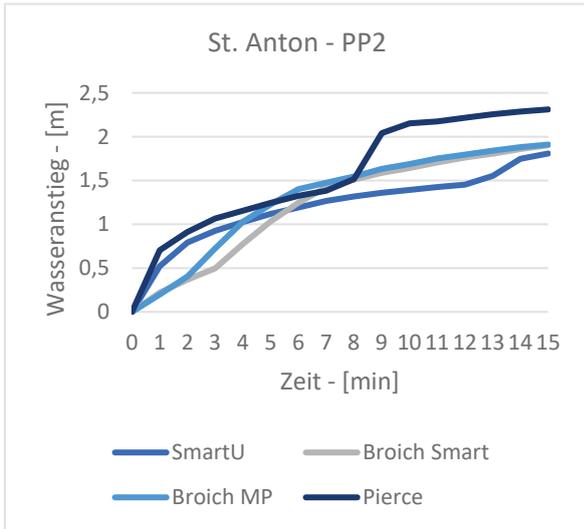


Diagramm 4.21: Wasseranstieg PP2

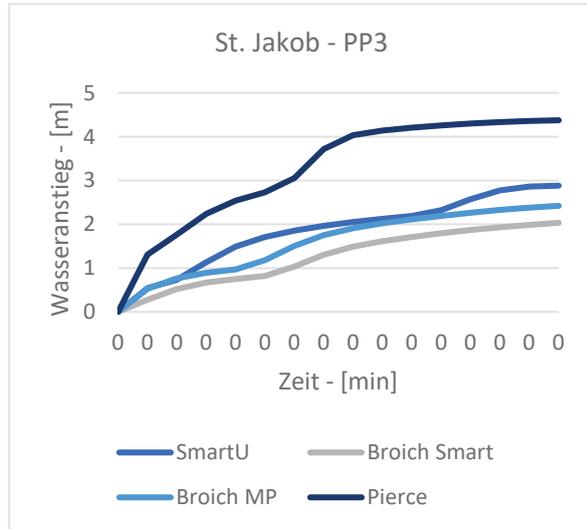


Diagramm 4.22: Wasseranstieg PP3

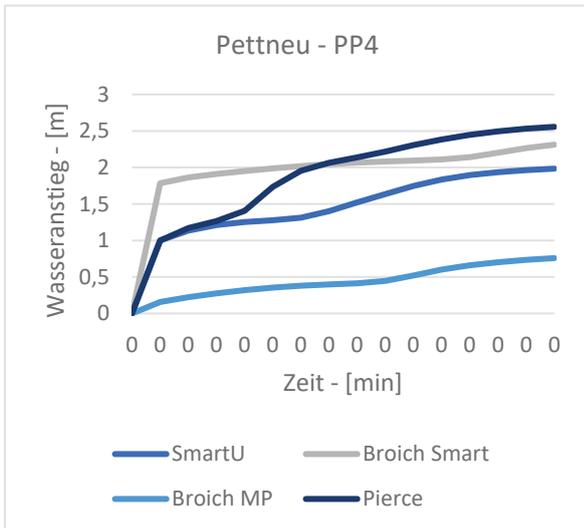


Diagramm 4.23: Wasseranstieg PP4

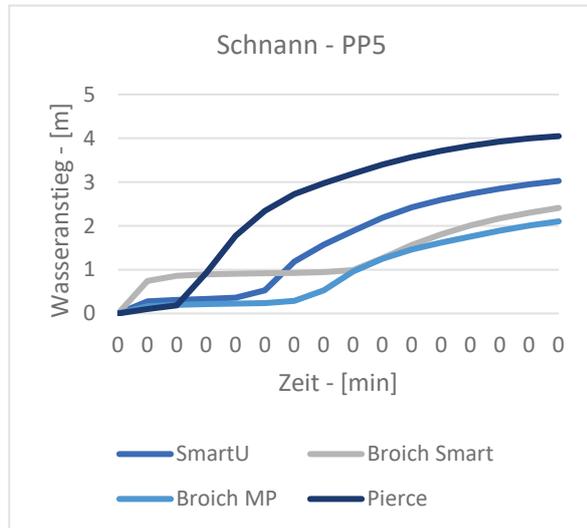


Diagramm 4.24: Wasseranstieg PP5

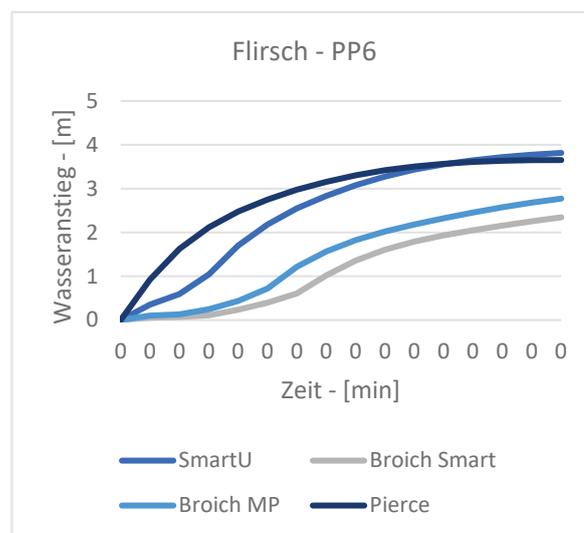


Diagramm 4.25: Wasseranstieg PP6

Tabelle 4.2.20: Berechnete Wasseranstiegsraten

Pegelpunkt	Flutwelle	Zeit	Wassertiefe	Wasseranstieg
		[min]	[m]	[m/h]
PP1	SmartU	5,03	1,50	17,88
	BroichSmart	9,58	1,50	9,40
	BroichMP	9,38	1,50	9,59
	Pierce	2,63	1,50	34,25
PP2	SmartU	12,47	1,50	7,21
	BroichSmart	7,87	1,50	11,43
	BroichMP	7,36	1,50	12,22
	Pierce	7,88	1,50	11,42
PP3	SmartU	4,04	1,50	22,26
	BroichSmart	8,07	1,50	11,15
	BroichMP	5,98	1,50	15,04
	Pierce	1,42	1,50	63,34
PP4	SmartU	7,83	1,50	11,50
	BroichSmart	0,84	1,50	107,06
	BroichMP	17,42	0,80	2,76
	Pierce	4,29	1,50	21,00
PP5	SmartU	6,82	1,50	13,19
	BroichSmart	9,79	1,50	9,20
	BroichMP	10,25	1,50	8,78
	Pierce	3,68	1,50	24,49
PP6	SmartU	3,69	1,50	24,37
	BroichSmart	8,57	1,50	10,50
	BroichMP	6,81	1,50	13,21
	Pierce	1,82	1,50	49,44
PP7	SmartU	1,77	1,50	50,71
	BroichSmart	2,66	1,50	33,90
	BroichMP	1,66	1,50	54,06
	Pierce	3,02	1,50	29,83

In Tabelle 4.2.20 ist zu sehen, dass bei jedem Pegelpunkt und jeder simulierten Flutwelle, die angegebene Grenze der Wasseranstiegsrate von 0,5 m/h bei weitem überschritten wird. Aus diesem Grund wird für das gesamte Gebiet eine Wasseranstiegsrate von über 0,5 m/h angesetzt.

**SCHRITT 2: ANZAHL DER PERSONEN, DIE DER FLUT AUSGESETZT SIND**

Die Anzahl der Personen im Überflutungsgebiet kann aus der Berechnung nach Graham (siehe Kapitel 4.2.4 Schritt 5) entnommen werden. Der Unterschied ist allerdings, dass bei dieser Methode die Anzahl der Personen im Überflutungsgebiet durch Effekte wie Evakuierung abgemindert wird.

**EVAKUIERUNG**

Um die Evakuierung beurteilen zu können, muss zunächst jene Zeit, die für die Evakuierungsmaßnahmen zur Verfügung steht abgeschätzt werden. Im nächsten Schritt wird jene Zeit, welche für die Evakuierung benötigt wird, abgeschätzt.

**VERFÜGBARE ZEIT**

Die verfügbare Zeit wird wie von Jonkman<sup>276</sup> vorgeschlagen, in die verfügbare Zeit vor Beginn der Überschwemmung und nach Beginn der Überschwemmung eingeteilt.

Die Ermittlung der verfügbaren Zeit vor Beginn der Überschwemmung wird dabei nach Tabelle 3.3.2 durchgeführt. Zuzüglich zu diesen Zeiten wird noch eine Kategorie hinzugefügt bei der keine Zeit vor Beginn der Überschwemmung zur Verfügung steht.

Jene Zeit, welche nach Beginn der Überschwemmung zur Verfügung steht, kann aus Tabelle 4.2.15, welche die Ankunftszeiten der simulierten Flutwellen enthält, entnommen werden.

Aus diesen Zeiten lässt sich die gesamte verfügbare Zeit für jede Ortschaft selbst berechnen (siehe Tabelle 4.2.21). Für die weiteren Berechnungen werden dabei jene Zeiten, die für 50 % der Fälle gelten, verwendet.

---

<sup>276</sup> JONKMAN S. N.: Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, 2007

Tabelle 4.2.21: Gesamte verfügbare Zeit

Flutwelle	Ortschaft	5%	50%	95%	keine Warnung
SmartU	St.Anton	4,37	12,37	51,37	0,37
	St.Jakob	4,47	12,47	51,47	0,47
	Pettneu	4,60	12,60	51,60	0,60
	Schnann	4,82	12,82	51,82	0,82
	Flirsch	4,95	12,95	51,95	0,95
BroichSmart	St.Anton	4,42	12,42	51,42	0,42
	St.Jakob	4,55	12,55	51,55	0,55
	Pettneu	4,73	12,73	51,73	0,73
	Schnann	4,90	12,90	51,90	0,90
	Flirsch	5,05	13,05	52,05	1,05
BroichMP	St.Anton	4,42	12,42	51,42	0,42
	St.Jakob	4,53	12,53	51,53	0,53
	Pettneu	4,72	12,72	51,72	0,72
	Schnann	4,90	12,90	51,90	0,90
	Flirsch	5,03	13,03	52,03	1,03
Pierce	St.Anton	4,33	12,33	51,33	0,33
	St.Jakob	4,43	12,43	51,43	0,43
	Pettneu	4,57	12,57	51,57	0,57
	Schnann	4,78	12,78	51,78	0,78
	Flirsch	4,92	12,92	51,92	0,92

### ERFORDERLICHE ZEIT

Die Zeit die erforderlich ist, um Personen aus dem Gefahrengebiet zu bringen wird nach Jonkman<sup>277</sup> in 4 wesentliche Phasen aufgeteilt:

- Vorhersagen und Entscheidungen treffen
- Warnung
- Reaktion
- Evakuierung

Des Weiteren erfolgt eine Einteilung in vorhergesehenen Fluten und unvorhergesehene. Diese bestimmen nach Tabelle 3.3.3 die erforderlichen Zeiten bis es zur Evakuierung kommt. In Tabelle 4.2.22 sind die verwendeten Zeiten dargestellt.

Tabelle 4.2.22: Zeit bis es zur Evakuierung kommt

	Vorhergesehene Flut – Vorbeugende Evakuierung	Unvorhergesehene Flut – Erzwungene Evakuierung
Bezeichnung	VE	EE
Entscheidungszeit	4 Stunden	2 Stunden
Vorwarnzeit	2,5 Stunden	2,5 Stunden
Anteil der gewarnten Personen	0,95	0,8
Reaktionszeit	2,5 Stunden	1 Stunde
Anteil der Bevölkerung, der die Warnung beachtet	0,95	0,95

<sup>277</sup> JONKMAN S. N.: Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, 2007

Zu diesen Zeiten wird noch jene Zeit, welche die tatsächliche Evakuierung in Anspruch nimmt addiert. Diese ist abhängig vom Gebiet selbst.

**Beispiel:**

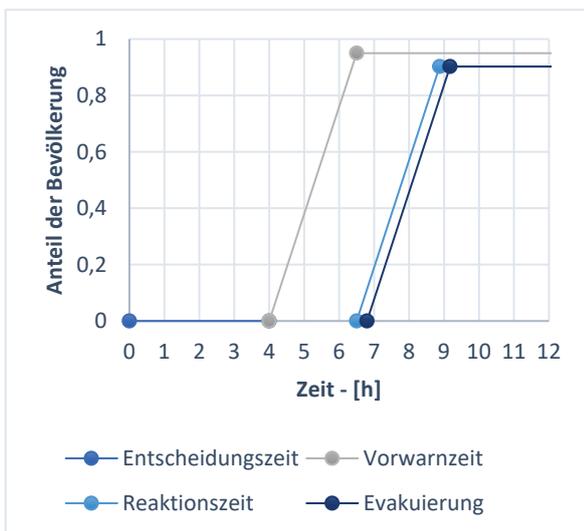
Jene Zeit, die die Evakuierung in Anspruch nimmt, ist abhängig von der Distanz, welche die Personen zurücklegen müssen, um ein sicheres Gebiet zu erreichen. Im untersuchten Gebiet beträgt die maximale Breite des Überschwemmungsgebiets etwa 500 m. Für den ungünstigsten Fall müsste eine Person also rund 250 m weit laufen, um in Sicherheit zu gelangen.

Bei einer durchschnittlichen Gehgeschwindigkeit von 1,5 m/s würde man also 2 Minuten und 47 Sekunden benötigen, um das Gebiet zu verlassen.

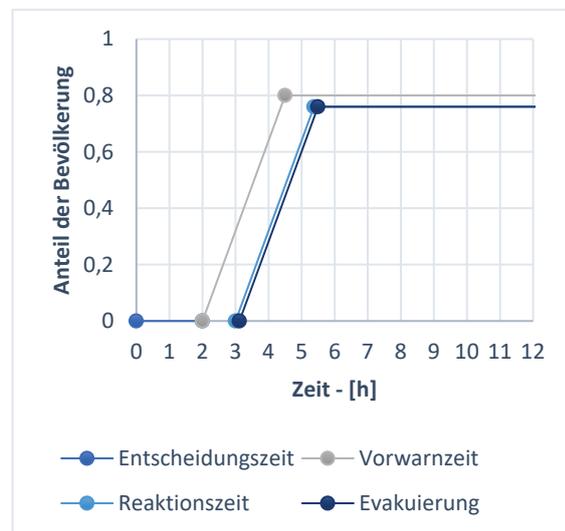
Für unvorhergesehene Fluten wird eine etwas schnellere Gehgeschwindigkeit von 2,0 m/s angenommen. Wodurch sich die benötigte Zeit auf 2 Minuten und 5 Sekunden reduziert.

Zuzüglich zu jener Zeit die benötigt wird, um das Gebiet zu verlassen, werden bei einer vorhergesehenen Flut 15 Minuten und bei einer unvorhergesehenen Flut 5 Minuten für das packen der letzten notwendigen Dinge hinzugerechnet.

Es kann nun also der Anteil der evakuierten Personen abgeschätzt werden und es ergeben sich die in Diagramm 4.26 und Diagramm 4.27 dargestellten zeitlichen Verläufe der Evakuierung. Es ist dabei ganz klar erkennbar, dass der maximale Anteil der evakuierten Personen deutlich variiert.



**Diagramm 4.26: Zeitlicher Verlauf der Evakuierungen bei vorhergesehenen Fluten**



**Diagramm 4.27: Zeitlicher Verlauf der Evakuierungen bei unvorhergesehenen Fluten**

### ANTEIL DER EVAKUIERTEN PERSONEN

In Tabelle 4.2.23 ist der Anteil der evakuierten Personen für vorbeugende Evakuierungen (VE) und erzwungene Evakuierungen (EE) dargestellt.

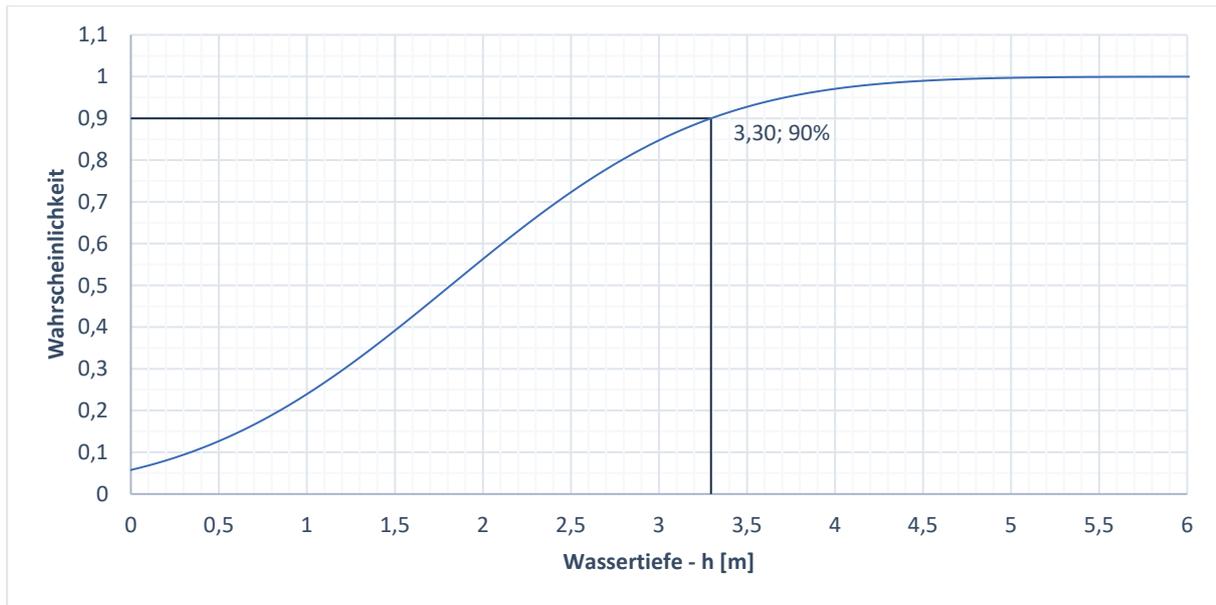
Tabelle 4.2.23: Anteil der evakuierten Personen nach Jonkman

Flutwelle	Ortschaft	5%	Anteil der evakuierten Personen		50%	Anteil der evakuierten Personen		95%	Anteil der evakuierten Personen	
			VE	EE		VE	EE		VE	EE
SmartU	St.Anton	4,37	0,00	0,40	12,37	0,90	0,76	51,37	0,90	0,76
	St.Jakob	4,47	0,00	0,43	12,47	0,90	0,76	51,47	0,90	0,76
	Pettneu	4,60	0,00	0,47	12,60	0,90	0,76	51,60	0,90	0,76
	Schnann	4,82	0,00	0,54	12,82	0,90	0,76	51,82	0,90	0,76
	Flirsch	4,95	0,00	0,59	12,95	0,90	0,76	51,95	0,90	0,76
BroichSmart	St.Anton	4,42	0,00	0,42	12,42	0,90	0,76	51,42	0,90	0,76
	St.Jakob	4,55	0,00	0,46	12,55	0,90	0,76	51,55	0,90	0,76
	Pettneu	4,73	0,00	0,52	12,73	0,90	0,76	51,73	0,90	0,76
	Schnann	4,90	0,00	0,57	12,90	0,90	0,76	51,90	0,90	0,76
	Flirsch	5,05	0,00	0,62	13,05	0,90	0,76	52,05	0,90	0,76
BroichMP	St.Anton	4,42	0,00	0,42	12,42	0,90	0,76	51,42	0,90	0,76
	St.Jakob	4,53	0,00	0,45	12,53	0,90	0,76	51,53	0,90	0,76
	Pettneu	4,72	0,00	0,51	12,72	0,90	0,76	51,72	0,90	0,76
	Schnann	4,90	0,00	0,57	12,90	0,90	0,76	51,90	0,90	0,76
	Flirsch	5,03	0,00	0,61	13,03	0,90	0,76	52,03	0,90	0,76
Pierce	St.Anton	4,33	0,00	0,39	12,33	0,90	0,76	51,33	0,90	0,76
	St.Jakob	4,43	0,00	0,42	12,43	0,90	0,76	51,43	0,90	0,76
	Pettneu	4,57	0,00	0,46	12,57	0,90	0,76	51,57	0,90	0,76
	Schnann	4,78	0,00	0,53	12,78	0,90	0,76	51,78	0,90	0,76
	Flirsch	4,92	0,00	0,58	12,92	0,90	0,76	51,92	0,90	0,76

### UNTERSCHLUPF (SHELTER)

Nach Jonkman<sup>278</sup> kann jedes Gebäude, welches mehr als drei Geschoße aufweist, als sicher angesehen werden. Aus diesem Grund werden für das untersuchte Gebiet die Wassertiefen bei den Gebäuden analysiert. Dafür wird stellvertretend die Flutwelle mit den größten Wassertiefen herangezogen („Pierce“). Über alle Gebäude verteilt ergibt sich eine mittlere Wassertiefe von 1,82 m mit einer Standardabweichung von 1,15 m. Aus diesen Werten kann eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Wassertiefe erstellt werden. Diagramm 4.28 zeigt die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Wassertiefe bei jedem Gebäude.

<sup>278</sup> JONKMAN S. N.: Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, 2007



**Diagramm 4.28: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bei jedem Gebäude**

In Diagramm 4.28 ist zu erkennen, dass 90 % der Gebäude maximal 3,30 m unter Wasser stehen. Das heißt, dass die Annahme von Jonkman, dass ein Gebäude als sicher angesehen werden kann, wenn es drei Geschoße aufweist, auch in diesem Gebiet zutrifft. Im nächsten Schritt wird versucht, die Gebäude mit mehr als drei Geschoßen, und den Anteil der Personen, welche es in den dritten Stock schaffen, abzuschätzen (siehe Tabelle 4.2.24).

**Tabelle 4.2.24: Abschätzung der Personen in Unterschlüpfen**

Gebäude	Anzahl Gebäude im Überflutungsgebiet	Anteil über 3 Geschoße	Anteil der Personen die rechtzeitig die oberen Geschoße erreichen		Anteil der Personen in Sicherheit	
			Tag	Nacht	Tag	Nacht
Hotel Garni	19	100%	75%	25%	75%	25%
Hotel	11	100%	75%	25%	75%	25%
Pension	47	80%	75%	25%	60%	20%
Gasthof	0					
Ferienwohnung	42	50%	75%	25%	38%	13%
Ferienhaus	0	50%	75%	25%	38%	13%
Lager	13	0%	75%	25%	0%	0%
Haus	144	50%	75%	25%	38%	13%
Wirtschaftsgebäude	12	0%	75%	25%	0%	0%
Bahnhof	3	0%	75%	25%	0%	0%
Büros	8	50%	75%	25%	38%	13%
Schule	3	100%	75%	25%	75%	25%
Kindergarten	1	100%	75%	25%	75%	25%
Volkschule	2	100%	75%	25%	75%	25%

**RETTUNG**

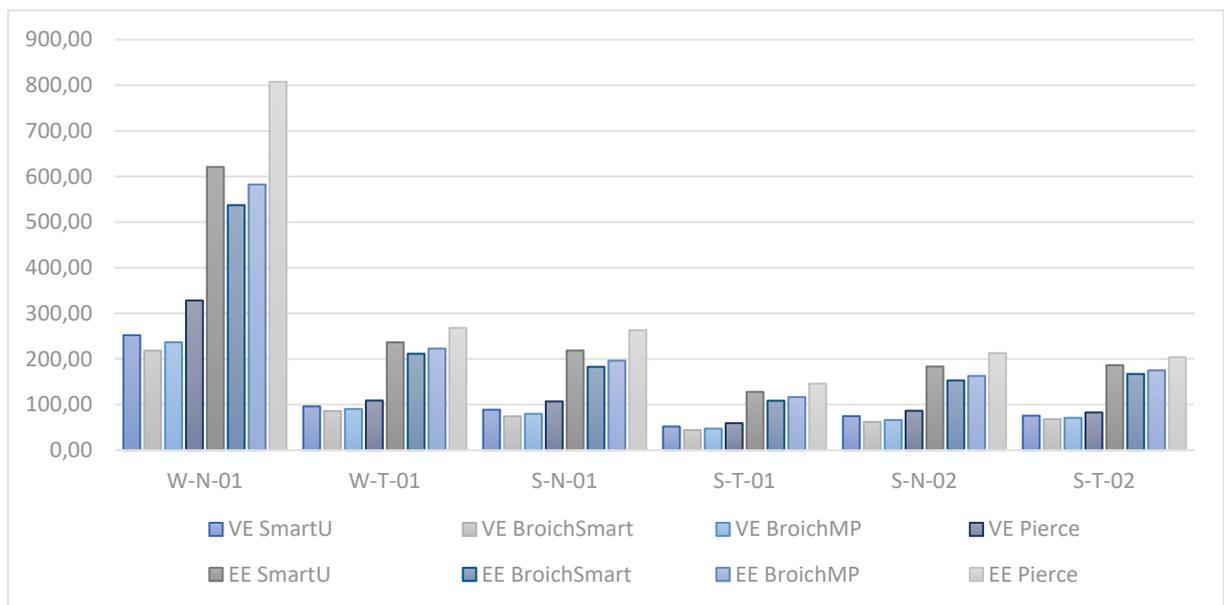
Es wird angenommen, dass Rettungsmaßnahmen im untersuchten Gebiet nur eine untergeordnete Rolle spielen, da die Ankunftszeiten der simulierten Flutwellen sehr kurz sind und auch die Zeiten bis der Wasserstand wieder sinkt sehr gering ausfallen. Daraus wird geschlossen, dass, bis Rettungsmaßnahmen anlaufen würden, das Überflutungsereignis wieder vorbei ist. Die Rettungsmaßnahmen können also eher als Versorgung der Überlebenden angesehen wird.

**EXPOSED POPULATION (EXP)**

Aus den Faktoren der Evakuierung, dem Unterschlupf und der Rettung, sowie der Personen im Überflutungsgebiet kann nach Gleichung 3-51 die Anzahl jener Personen, die der Flut tatsächlich ausgesetzt sind, berechnet werden. Die Ergebnisse der Berechnungen für jede Flutwelle sind in Tabelle 4.2.25 und Diagramm 4.29 zu finden.

**Tabelle 4.2.25: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle**

		Winter - Februar		Sommer - August		Sommer - Mai	
		Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
		W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01	S-N-02	S-T-02
<b>Evakuierung</b>	<b>Flutwelle</b>	<b>EXP</b>					
<b>VE</b>	<b>SmartU</b>	252,21	96,05	88,76	51,96	74,51	75,69
	<b>BroichSmart</b>	218,26	85,90	74,28	44,10	62,09	67,93
	<b>BroichMP</b>	236,66	90,51	79,74	47,33	66,17	71,10
	<b>Pierce</b>	328,13	108,92	106,93	59,28	86,53	82,77
<b>EE</b>	<b>SmartU</b>	620,82	236,44	218,49	127,89	183,41	186,31
	<b>BroichSmart</b>	537,26	211,45	182,84	108,55	152,84	167,21
	<b>BroichMP</b>	582,55	222,79	196,27	116,50	162,89	175,01
	<b>Pierce</b>	807,69	268,11	263,20	145,91	212,99	203,74



**Diagramm 4.29: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle**

### **SCHRITT 3: BERECHNUNG DER OPFERRATE**

#### **ZONENEINTEILUNG**

Um die Opferrate abschätzen zu können wird zunächst das untersuchte Gebiet in unterschiedliche Zonen eingeteilt (siehe Kapitel 3.3.3). Dies erfolgte durch die drei Parameter Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Wasseranstiegsrate.

Die Berechnung erfolgte dabei mit dem Programmpaket ArcMap 10.5. Die grafische Auswertung der Zoneneinteilung ist auf den folgenden Seiten für St. Anton und Pettneu dargestellt (siehe Abb. 4.17 bis Abb. 4.24).

Es ist zu erkennen, dass sich die Zoneneinteilung in Abhängigkeit der simulierten Flutwelle deutlich ändern. Überraschend ist, dass die Zone mit schnellem Wasseranstieg vergleichsweise klein ausfällt, da für das gesamte Gebiet eine Wasseranstiegsrate von über 0,5 m/h angesetzt wird. Dies ist jedoch darin begründet, dass diese Zone auch eine Wassertiefe von mindestens 2,1 m aufweisen muss. Die Schlussfolgerung daraus ist also, dass der Parameter  $hv$  und die Fließgeschwindigkeit  $v$  im gesamten Gebiet sehr hoch sind und so bei einer Unterschreitung der Grenzwerte für die Bruchzone, die Wassertiefe  $h$  ebenfalls unter dem Grenzwert der Zone mit schnellem Wasseranstieg liegt.

Da Jonkman in seiner Arbeit<sup>279</sup> die Bruchzone als eine Zone, welche direkt hinter der Sperre auftritt und auch eine Formel zur Abschätzung der Größe der Bruchzone angibt, wird bei der Berechnung der Opferraten, sowohl die ermittelte Zonenaufteilung, als auch eine weitere Einteilung, bei der die Bruchzone als Zone mit schnellem Wasseranstieg angesehen wird, angewendet. Jonkman gibt zwar zu bedenken, dass seine Methode nicht auf Sperrbruchszszenarien im alpinen Raum ausgelegt ist und in diesen Fällen die Bruchzone etwas größer ausfallen könnte, dass sie sich jedoch über das gesamte Gebiet erstreckt scheint jedenfalls unglaubwürdig.

---

<sup>279</sup> JONKMAN S. N.: Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft, 2007

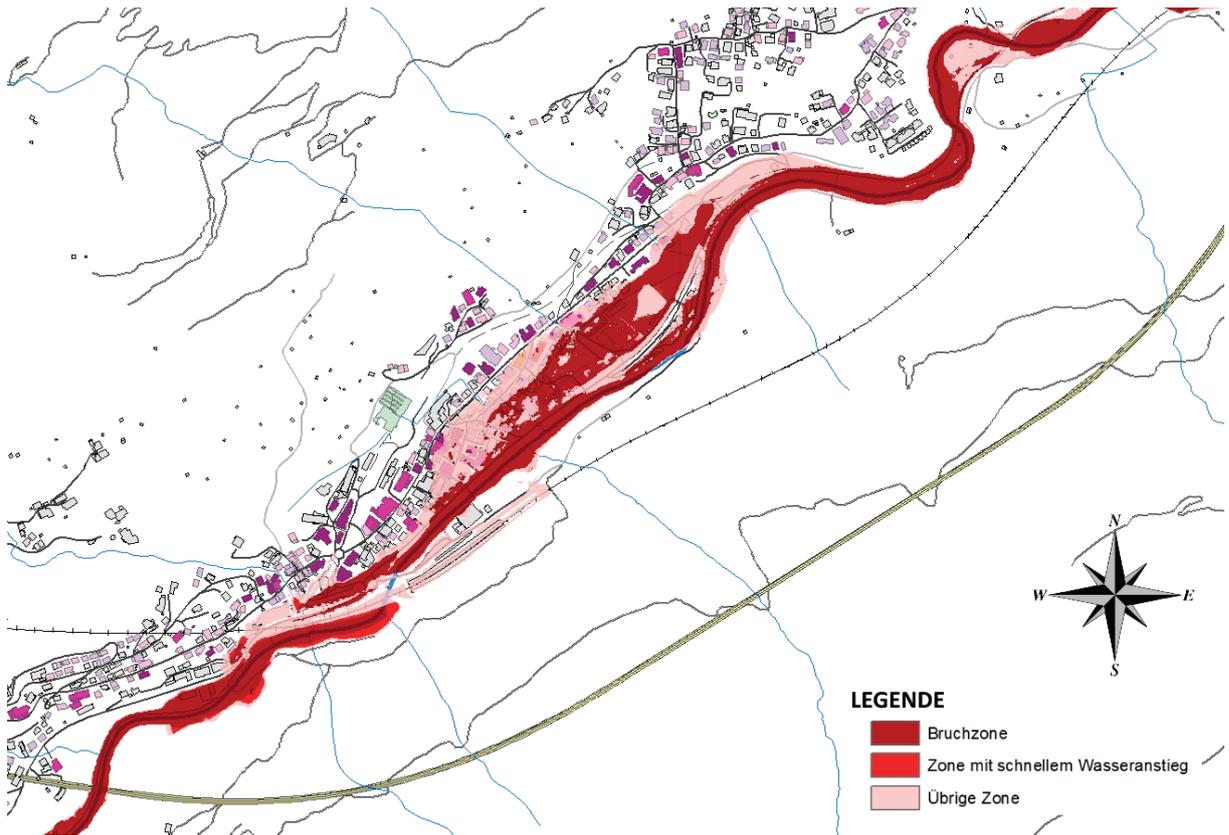


Abb. 4.17: Zoneneinteilung in St. Anton für SmartU<sup>280</sup>

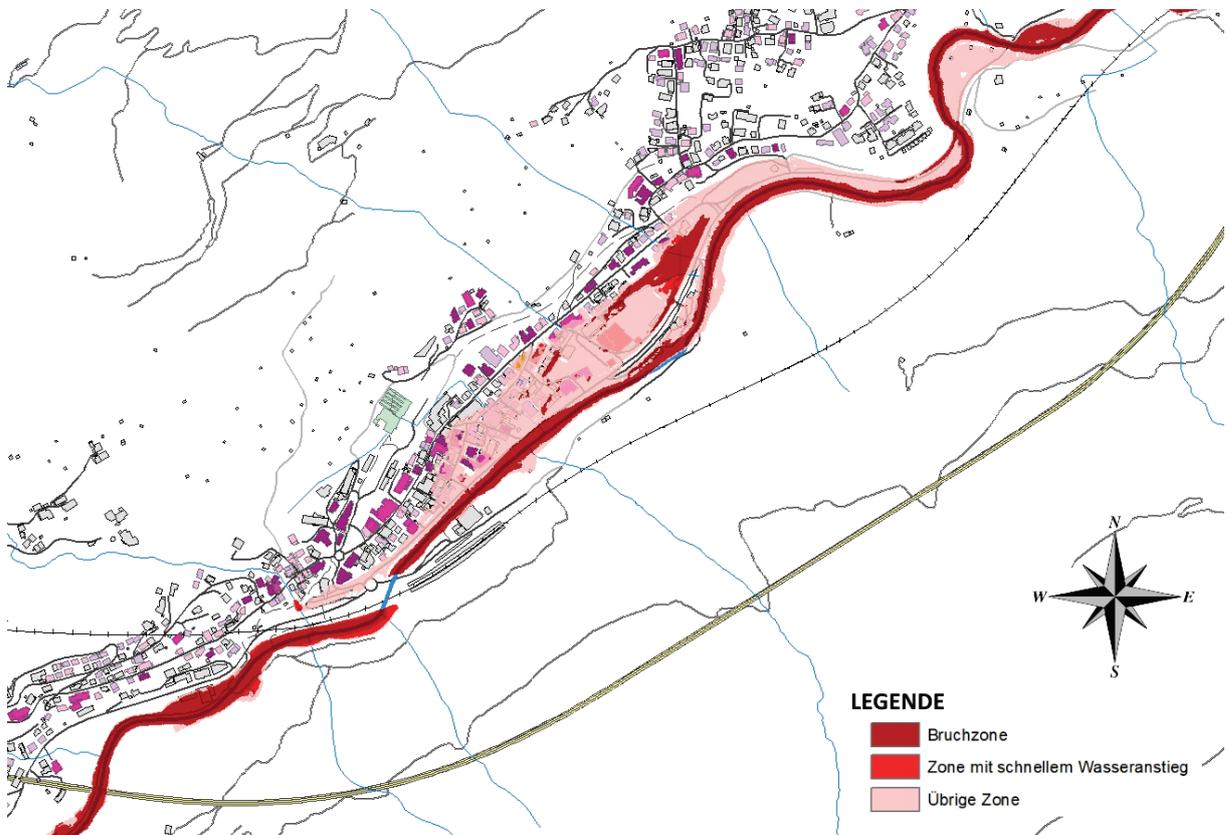


Abb. 4.18: Zoneneinteilung in St. Anton für BroichSmart<sup>280</sup>

<sup>280</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

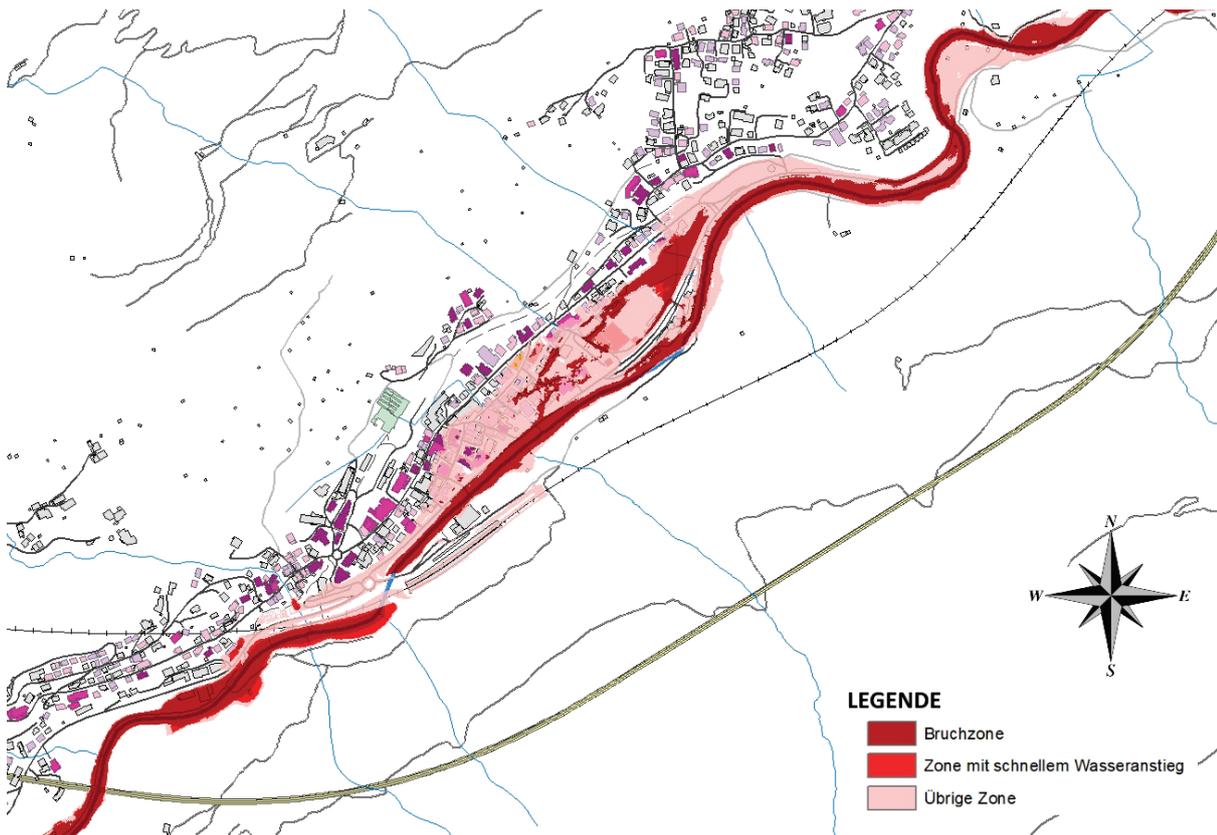


Abb. 4.19: Zoneneinteilung in St. Anton für BroichMP<sup>281</sup>

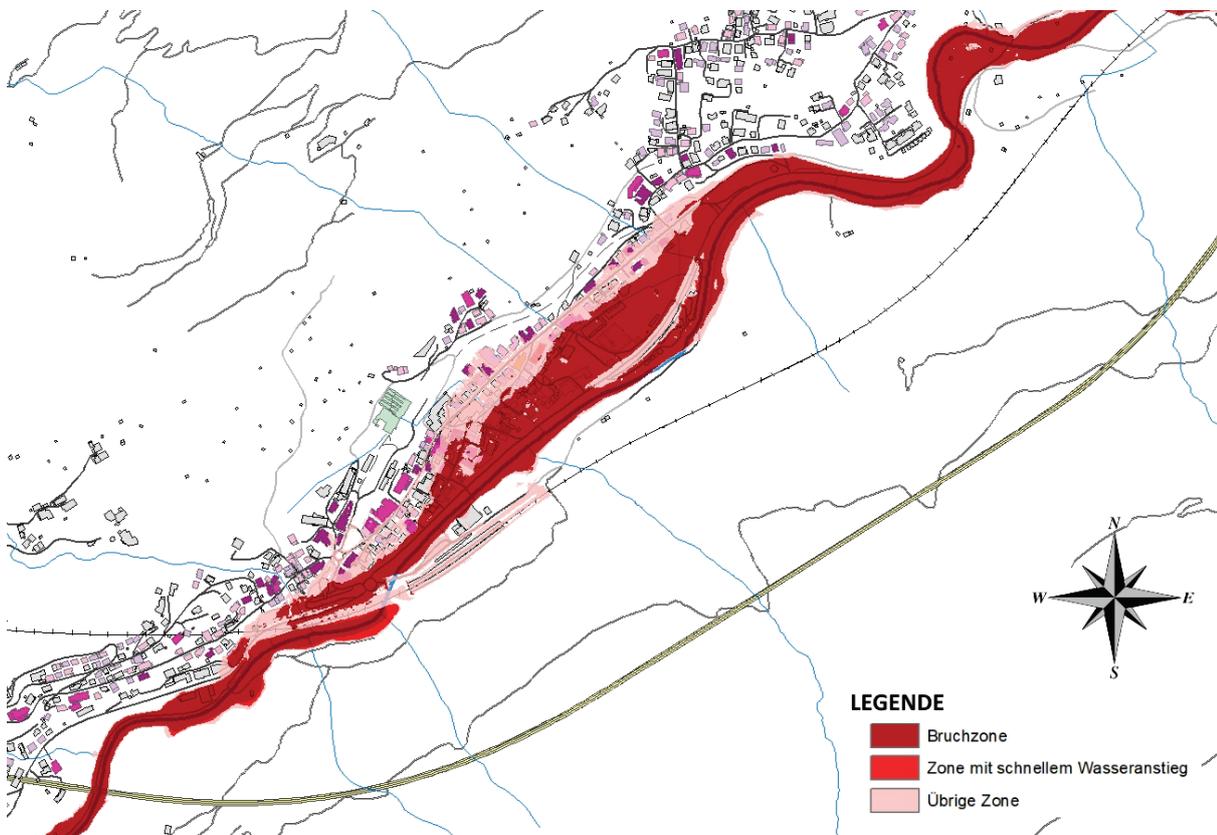


Abb. 4.20: Zoneneinteilung in St. Anton für Pierce<sup>281</sup>

<sup>281</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

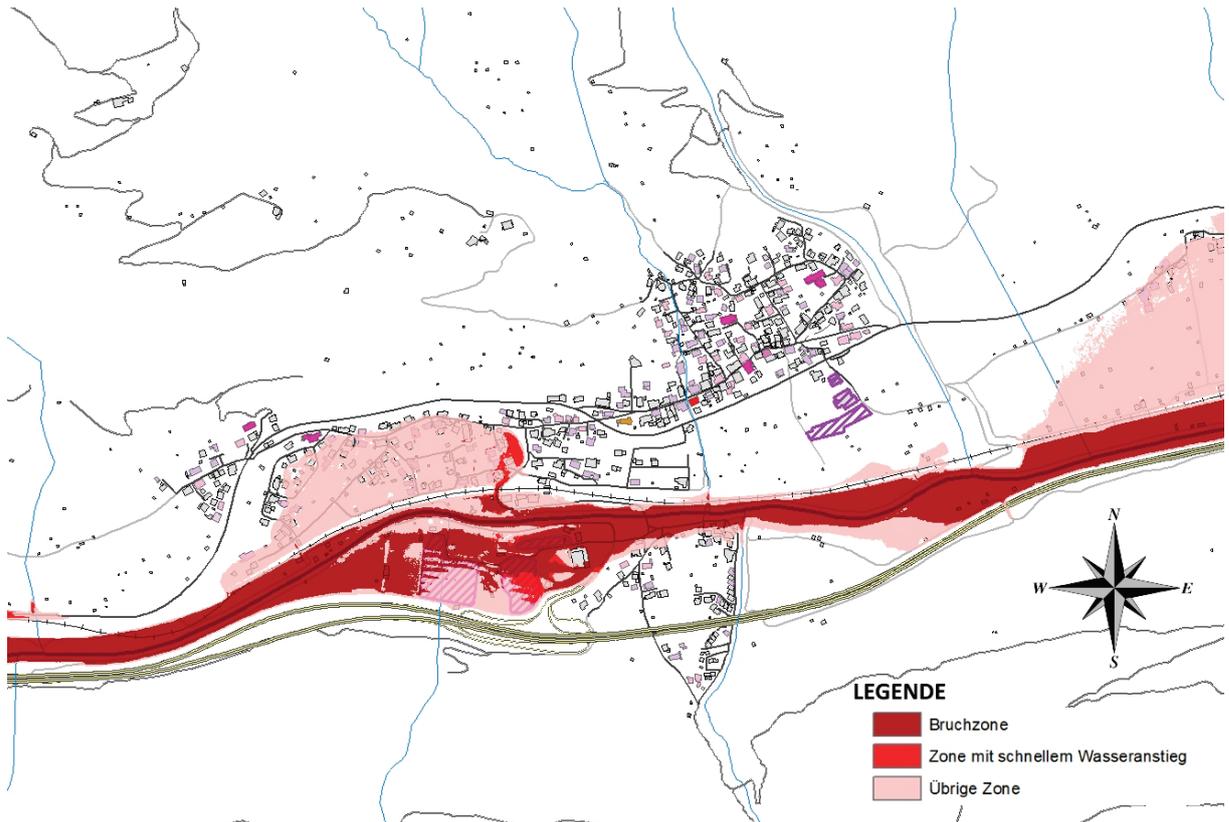


Abb. 4.21: Zoneneinteilung in Pettneu für SmartU<sup>282</sup>

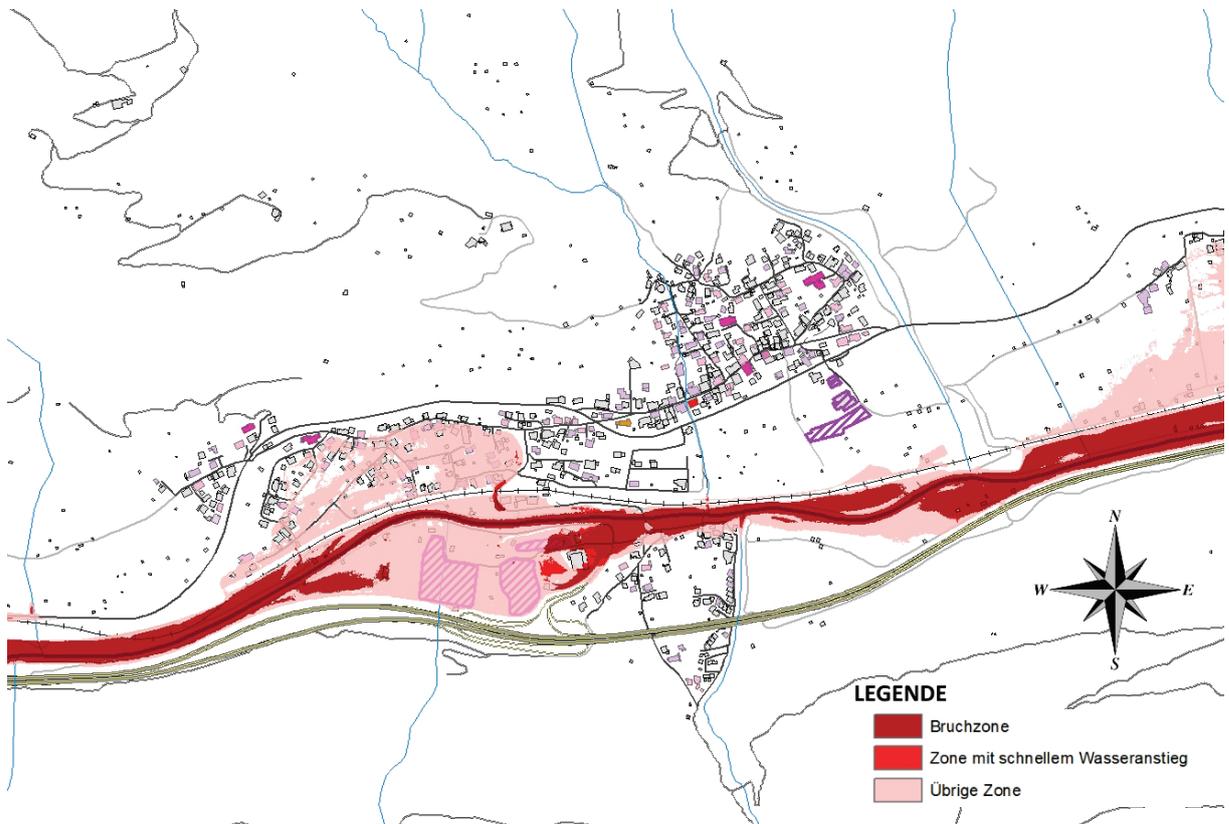


Abb. 4.22: Zoneneinteilung in Pettneu für BroichSmart<sup>282</sup>

<sup>282</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

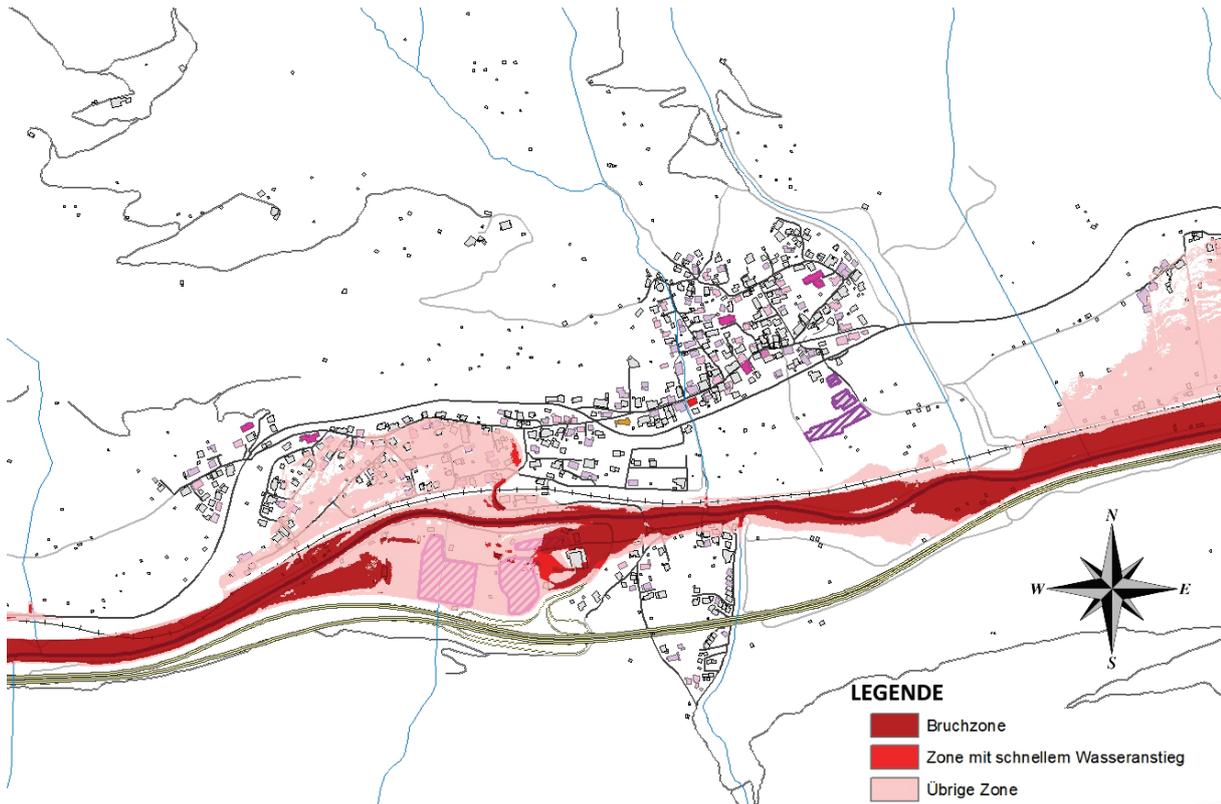


Abb. 4.23: Zoneneinteilung in Pettnau für BroichMP<sup>283</sup>

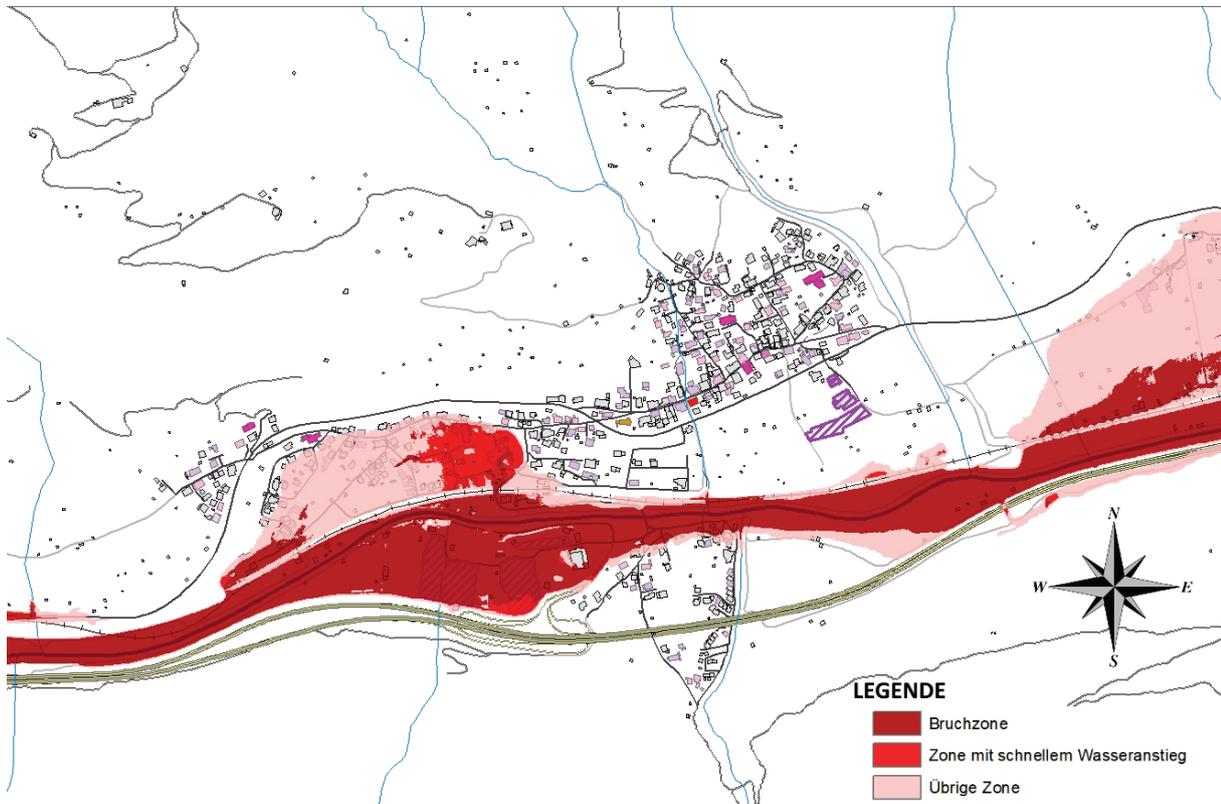


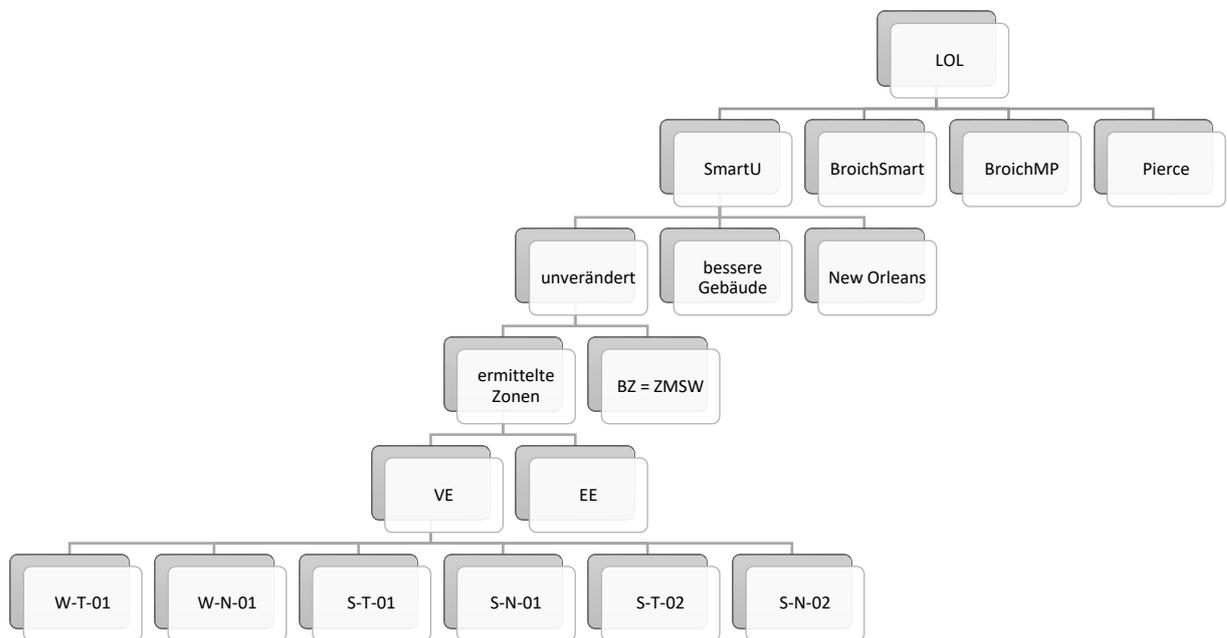
Abb. 4.24: Zoneneinteilung in Pettnau für Pierce<sup>283</sup>

<sup>283</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Tirol (URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>) und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

**OPFERRATE**

Für die zuvor angeführten Parameter kann nun die Opferrate ermittelt werden. Die Opferrate selbst wird dabei wieder für jedes aufgenommene Gebäude einzeln definiert und so die Opferzahl in jedem Gebäude ermittelt. Die Opferrate wird dabei für jede Zeitkategorie, Evakuierungssituation (vorhergesehen / unvorhergesehen) und nach den 3 unterschiedlichen Gleichungen nach Jonkman (Unveränderte Formeln / Formeln zur Berücksichtigung besserer Gebäude / Ansatz aus dem Fallbeispiel New Orleans) ermittelt.

Für alle Kombinationsmöglichkeiten wird dabei die Berechnung sowohl mit den ermittelten Zonen, als auch mit der Bruchzone (BZ) als Zone mit schnellem Wasseranstieg (ZMSW) durchgeführt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Berechnung nach dem Ansatz von New Orleans eine eigene Zoneneinteilung aufweist. Es erfolgt dabei eine Einteilung in zwei Zonen (Bruchzone und übrige Zone), wobei die Bruchzone keine Opferrate von 100 % aufweist. Aus diesem Grund wird bei diesem Ansatz auch keine Berechnung der Bruchzone als Zone mit schnellem Wasseranstieg durchgeführt. Die Zeit, welche vor dem Sperrenversagen zur Verfügung steht, wird dabei auf den 50 % Wert der Experteneinschätzung reduziert. In Summe liefern diese Kombinationsmöglichkeiten 240 Einschätzungen der Opferzahlen. Ein möglicher Kombinationspfad ist in Abb. 4.25 dargestellt.

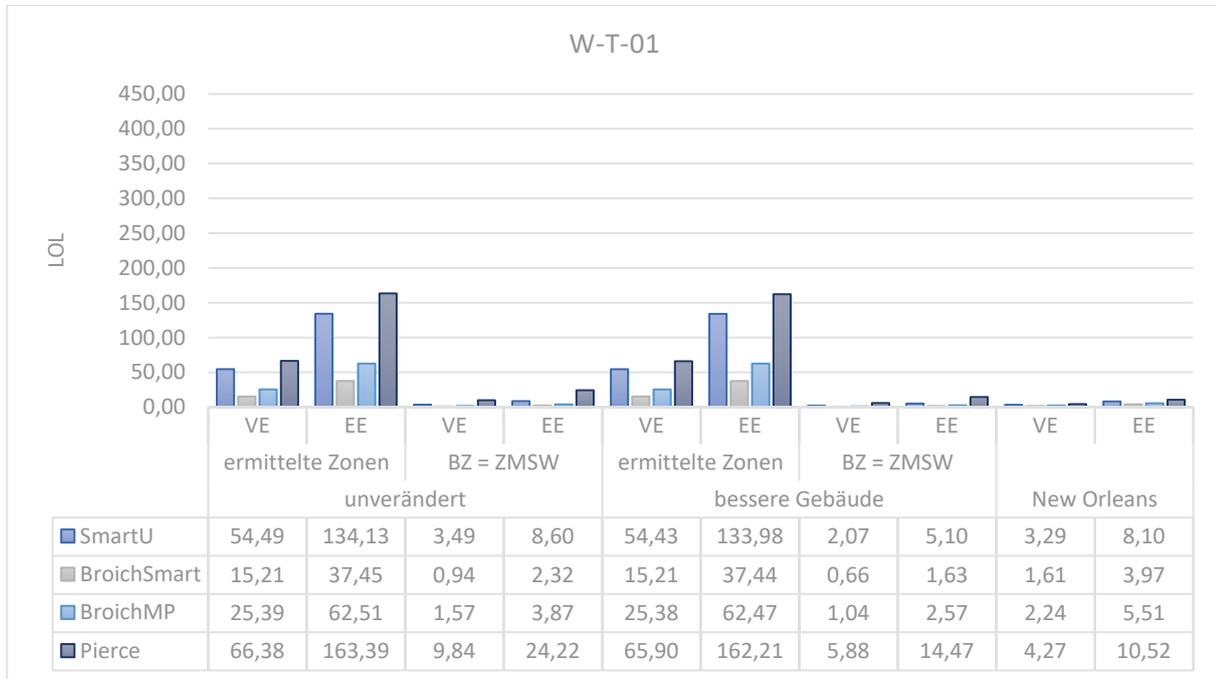


**Abb. 4.25: Exemplarische Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten für SmartU – unveränderte Formeln – ermittelte Zonen – vorbeugende Evakuierung (VE)**

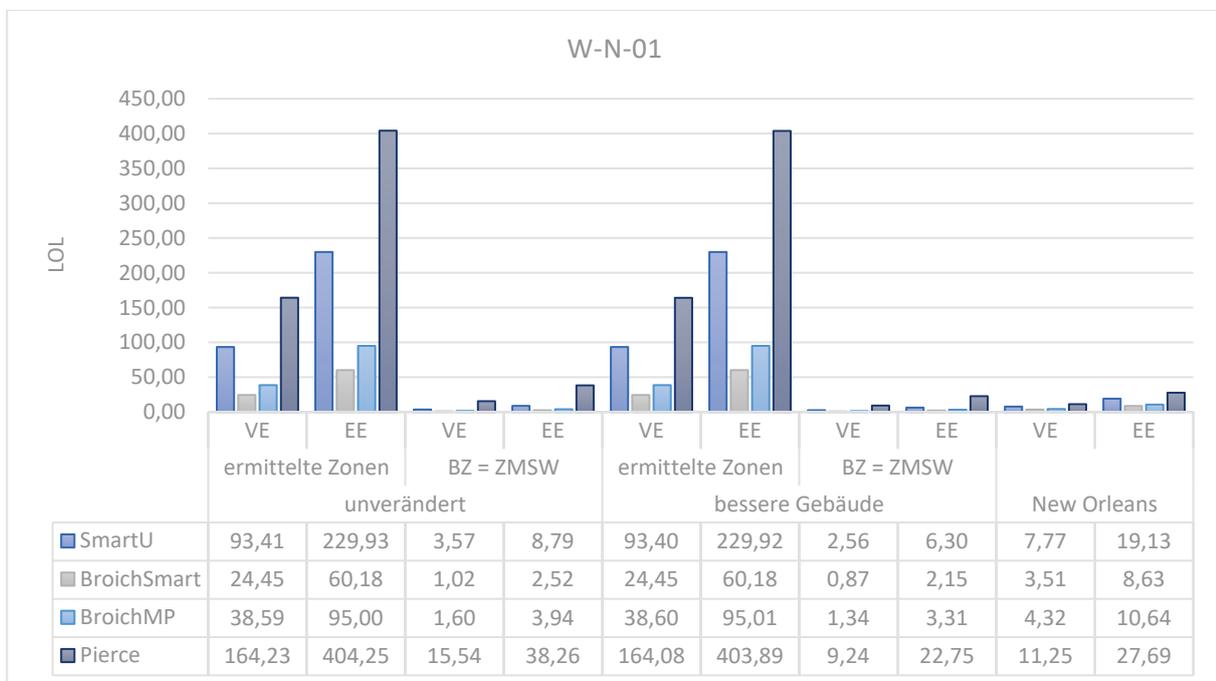
**ANZAHL DER OPFER (LOL)**

Nach der Auswertung der Opfer in jedem Gebäude kann nun die gesamte Opferzahl ermittelt werden. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen, gegliedert nach den jeweiligen Zeitkategorien dargestellt.

**WINTER**



**Diagramm 4.30: Opferzahlen am Tag im Winter nach Jonkman**



**Diagramm 4.31: Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Jonkman**

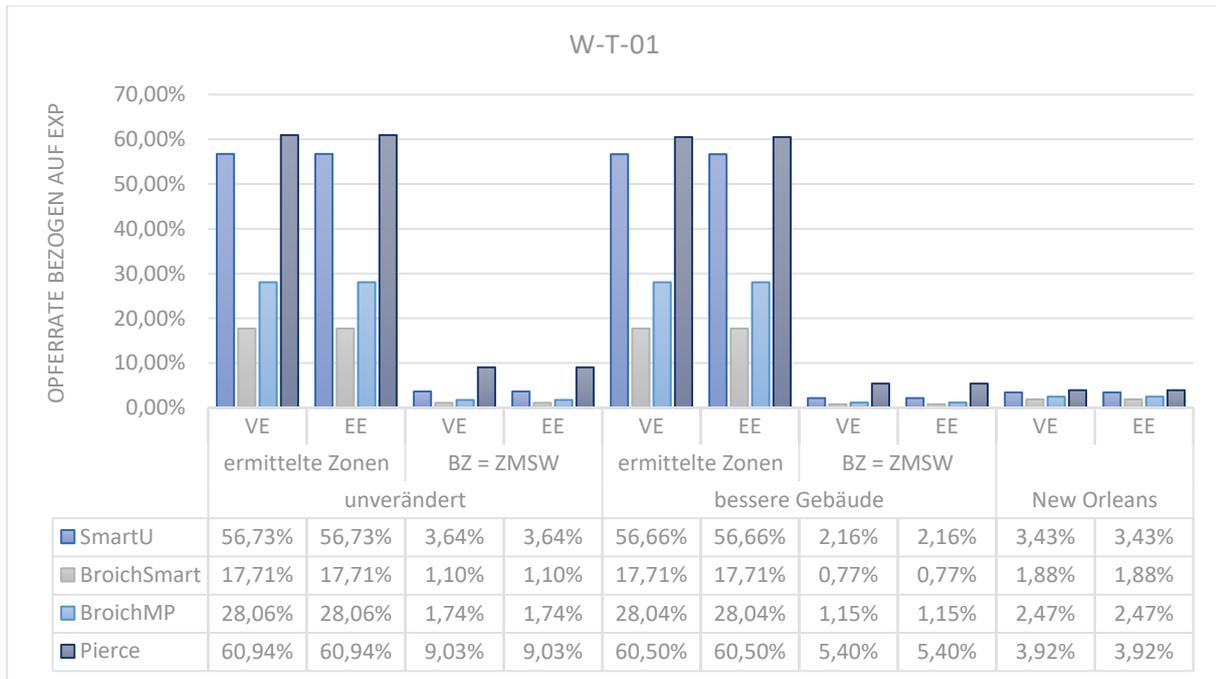
Wie schon bei der Einschätzung der Opferzahlen nach Graham (siehe Diagramm 4.9 und Diagramm 4.10) ist auch hier ein deutlicher Unterschied zwischen Tag und Nacht zu erkennen (siehe Diagramm 4.30 und Diagramm 4.31). Die maximale Opferzahl in der Nacht liegt bei rund 404 Opfern und am Tag bei rund 163 Opfern. Diese Ergebnisse divergieren um etwa den Faktor 2,5. Dieser Faktor ist deutlich größer als jener, der bei der Berechnung nach Graham festgestellt wurde (1,3). Dieser Umstand ist durch die ausdrückliche Berücksichtigung der Evakuierung in der Berechnung nach Jonkman zu erklären.

Ein weiteres interessantes Detail ergibt sich bei der Betrachtung der unterschiedlichen Formeln zur Berechnung der Opferzahlen. Zwischen dem unveränderten Ansatz und der angepassten Form, welche bessere Gebäudestandards berücksichtigen soll, besteht praktisch kein Unterschied.

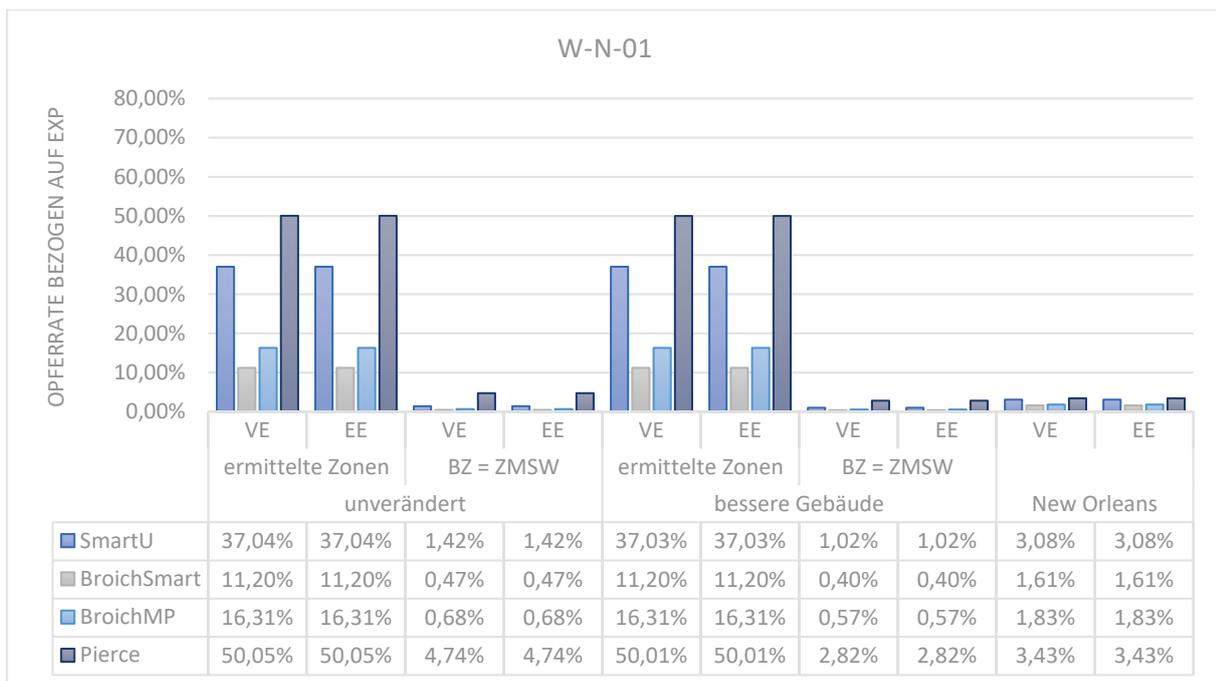
Ein großer Unterschied in den Opferzahlen ergibt sich bei der Betrachtung der Einteilung der Zonen. Wie erwartet sind die Opferzahlen deutlich geringer, wenn die Bruchzone der Zone mit schnellem Wasseranstieg gleichgesetzt wird, da in der Bruchzone eine Opferrate von 100 % angenommen wird. Überraschend ist allerdings, dass die Einteilung der Zonen nach Jonkmans Modell von New Orleans vergleichbare Ergebnisse liefert.

Wird nun der Unterschied zwischen vorbeugender Evakuierung (VE) und erzwungener Evakuierung (EE) betrachtet. Zeigt sich für alle Berechnungen derselbe Trend. Vorbeugende Evakuierungen (vergleichbar mit der Kategorie „viele Beobachter beim Damm“ von Graham) reduzieren die Opferzahlen drastisch. Unterschiede von einem Faktor von bis zu 2,5 sind zu erkennen.

Bei genauerer Betrachtung der unterschiedlichen Flutwellen sind ebenfalls deutliche Differenzen feststellbar. Wie schon bei der Berechnung nach Graham ergibt die Flutwelle „*Pierce*“ die größten Opferzahlen. Die Opferzahl ist beinahe doppelt so groß, wie bei der Flutwelle mit dem zweitgrößten Spitzenabfluss („*SmartU*“).



**Diagramm 4.32: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) am Tag im Winter nach Jonkman**



**Diagramm 4.33: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) in der Nacht im Winter nach Jonkman**

Bei der Betrachtung der Opferraten bezogen auf jene Personen, die im Gefahrengebiet verbleiben (EXP) (siehe Diagramm 4.32 und Diagramm 4.33) zeigt sich eine interessante Veränderung verglichen mit den Opferzahlen. Ein Unterschied zwischen vorbeugender und erzwungener Evakuierung kann nicht mehr festgestellt werden. Daraus ist zu schließen, dass die Unterschiede der Opferzahlen nur aus den unterschiedlichen Annahmen der Evakuierung abzuleiten sind und nicht aus den Gleichungen zur Opferzahlenermittlung selbst.

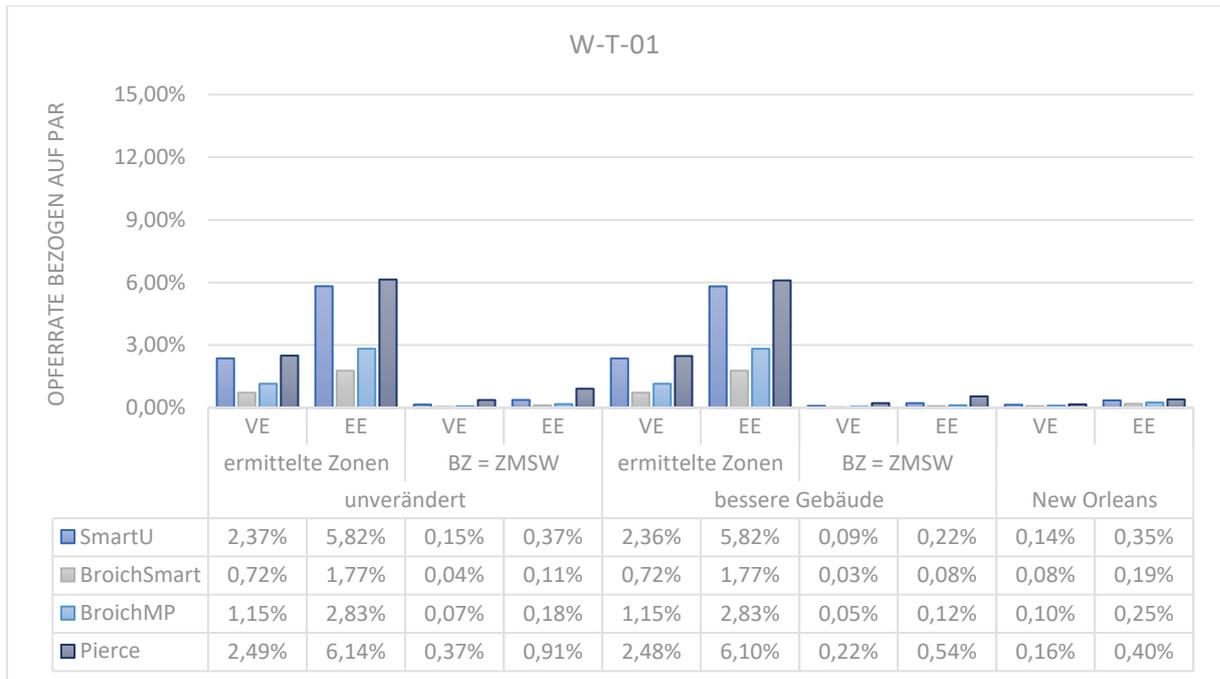


Diagramm 4.34 Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (PAR) am Tag im Winter nach Jonkman

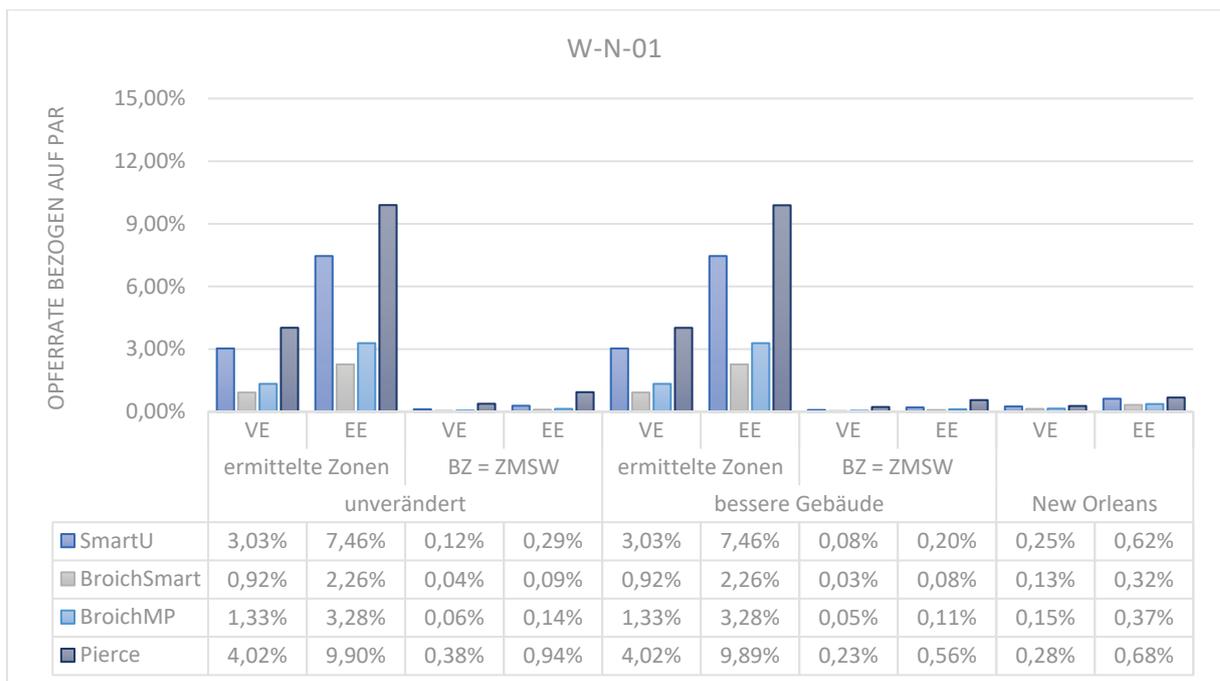
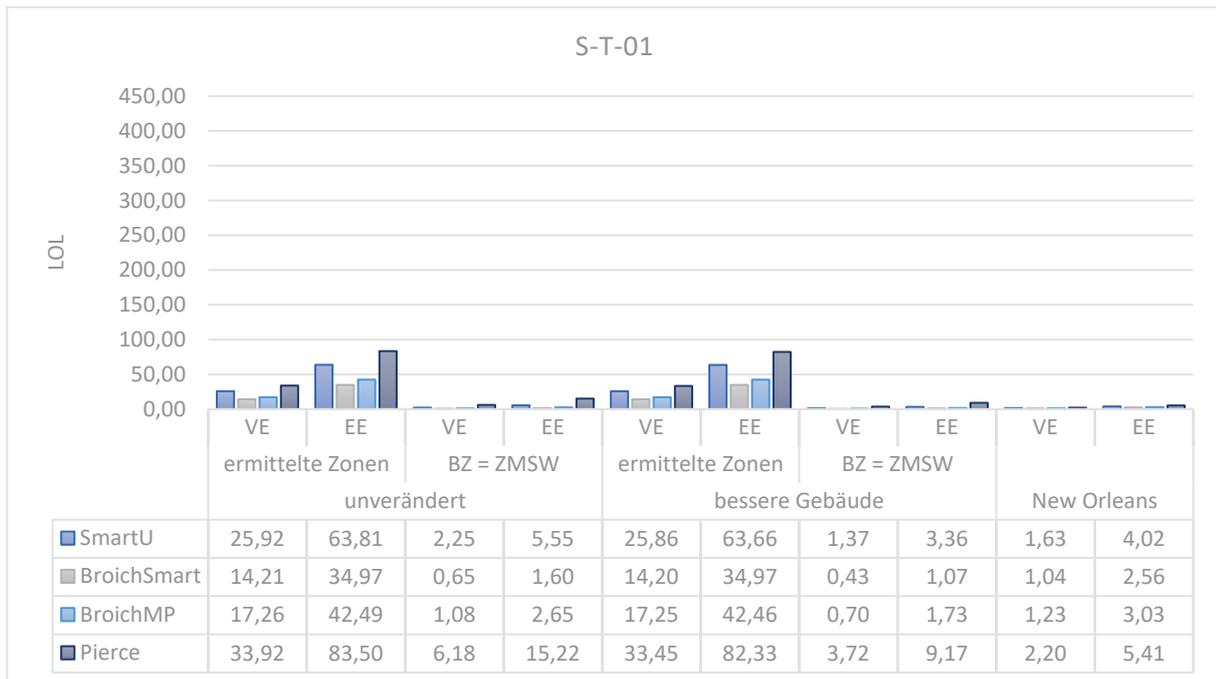


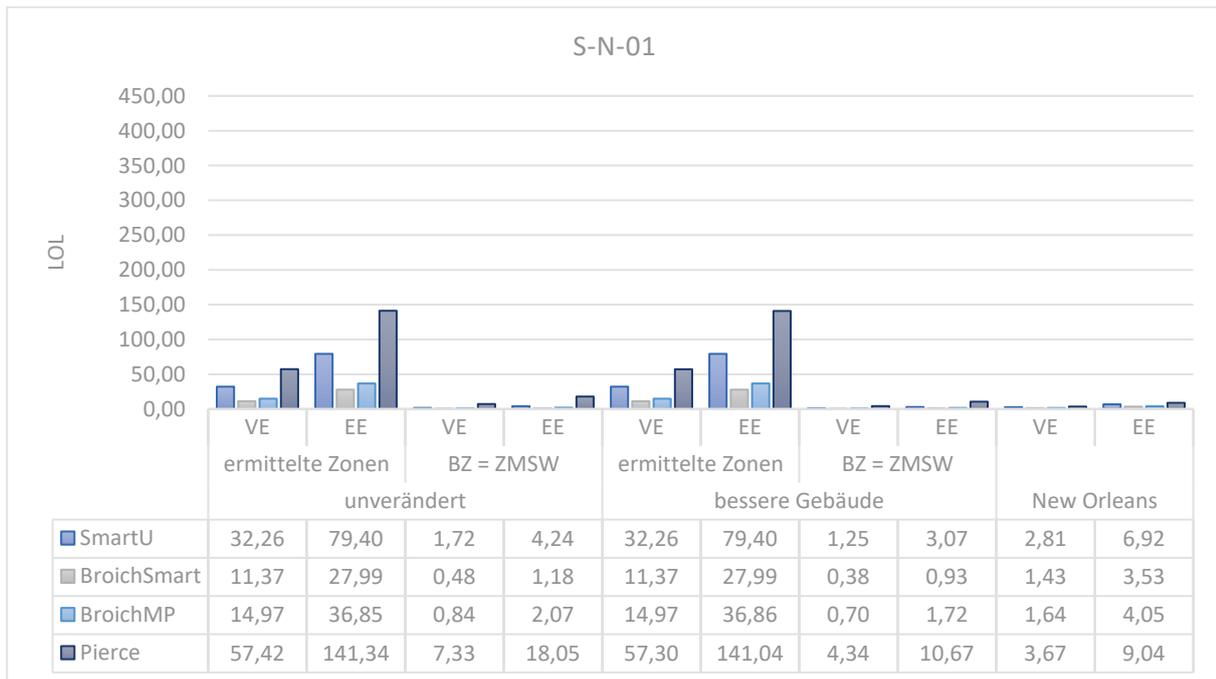
Diagramm 4.35 Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (PAR) in der Nacht im Winter nach Jonkman

In Diagramm 4.34 und Diagramm 4.35 sind die Opferraten anhand der Personen im Gefahrengebiet (PAR) berechnet. Dabei lässt sich kein wesentlicher Unterschied zu den Opferzahlen erkennen (siehe Diagramm 4.30 und Diagramm 4.31). Es besteht weiterhin kein nennenswerter Unterschied zwischen dem unveränderten Ansatz nach Jonkman und der Gleichung zur Berücksichtigung besserer Gebäudestandards. Auch die Opferraten aus der Berechnung nach dem Ansatz von New Orleans gleichen abermals den Ergebnissen ohne Bruchzone.

**SOMMER – AUGUST**



**Diagramm 4.36: Opferzahlen am Tag im August nach Jonkman**



**Diagramm 4.37: Opferzahlen in der Nacht im August nach Jonkman**

Es ist in Diagramm 4.36 und Diagramm 4.37 sofort zu erkennen, dass die Opferzahlen im Vergleich zu jenen im Winter (siehe Diagramm 4.30 und Diagramm 4.31) deutlich geringer ausfallen. Im Winter werden im schlechtesten Fall etwa 404 Opfer berechnet, wohingegen die Zahl im August auf etwa 141 Opfer zurückgeht. Allerdings stellt noch immer das Flutwellenszenario nach „Pierce“ bei erzwungener Evakuierung (EE), unverändertem Ansatz und Zonen das Ergebnis mit den meisten Opfern dar.

Weiterhin ist anzumerken, dass der Unterschied zwischen der Berechnung nach unverändertem Ansatz und jenem zur Berücksichtigung besserer Gebäudestandards nur sehr gering ausfällt. Auch die Berechnungen ohne Bruchzone ergeben vergleichbare Ergebnisse wie die Berechnung nach dem Ansatz von New Orleans.

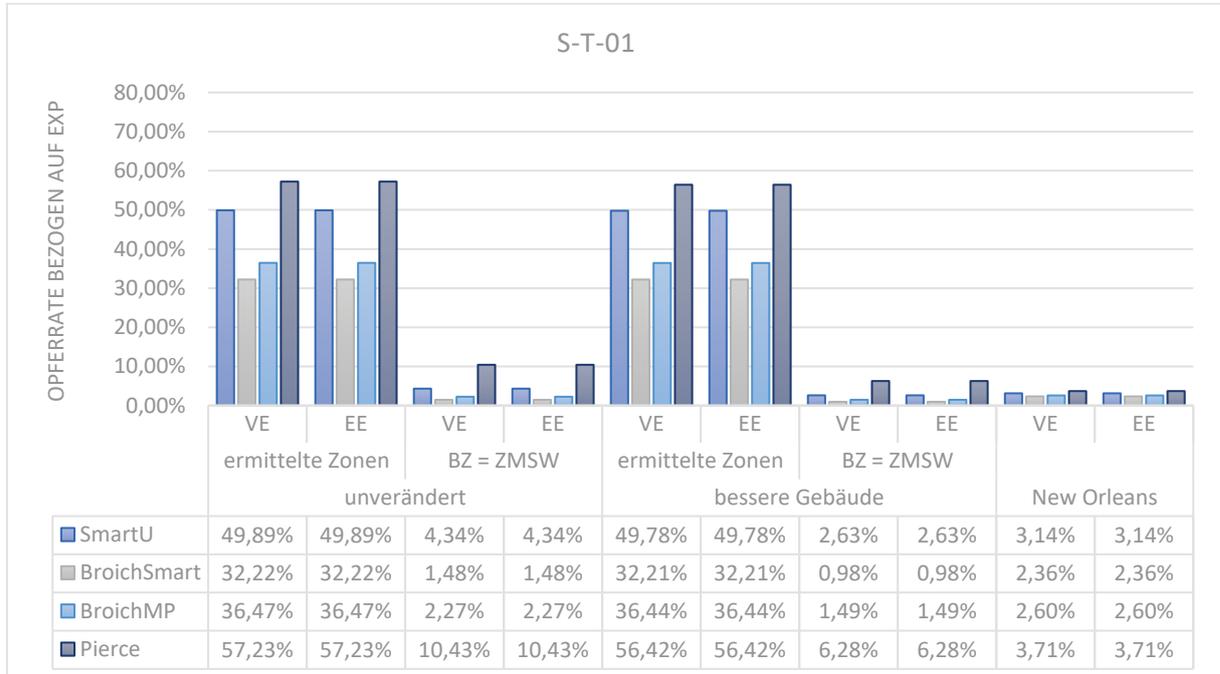


Diagramm 4.38: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) am Tag im August nach Jonkman

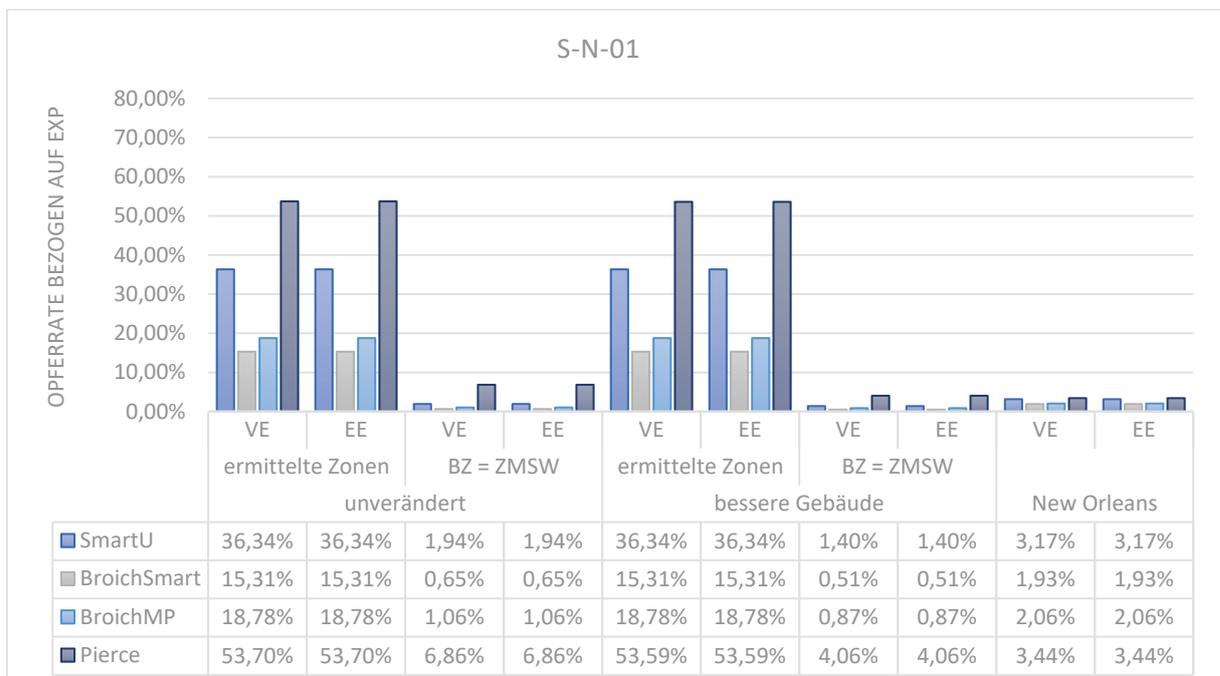
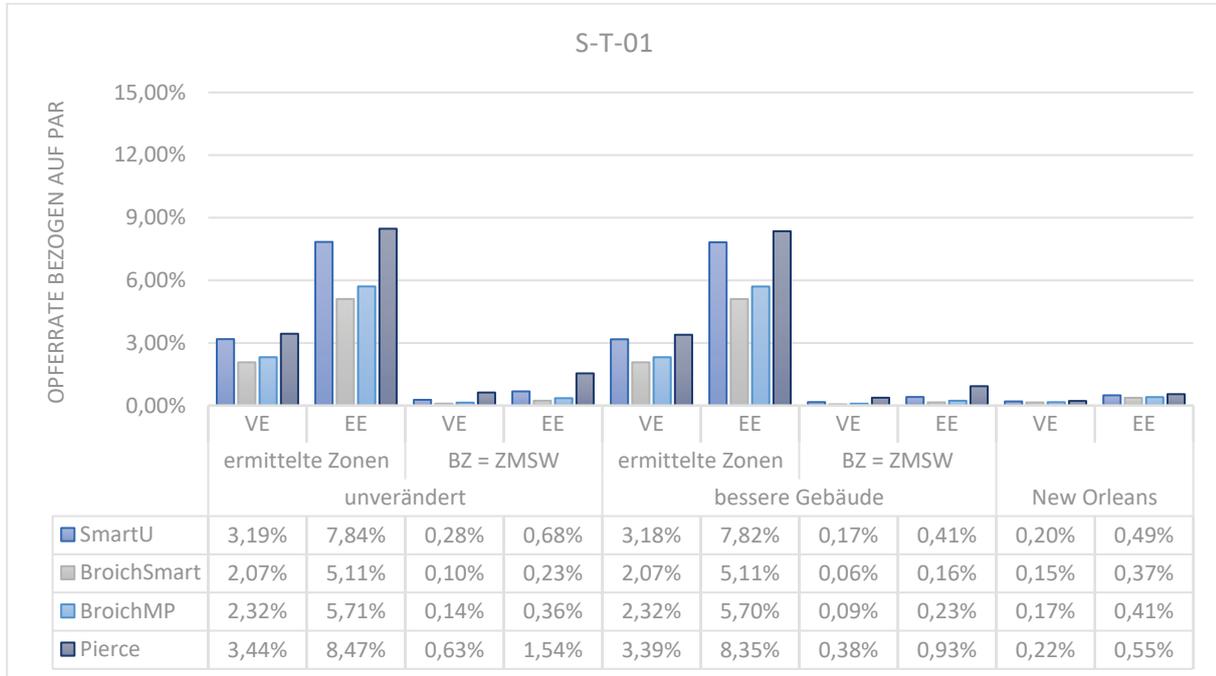


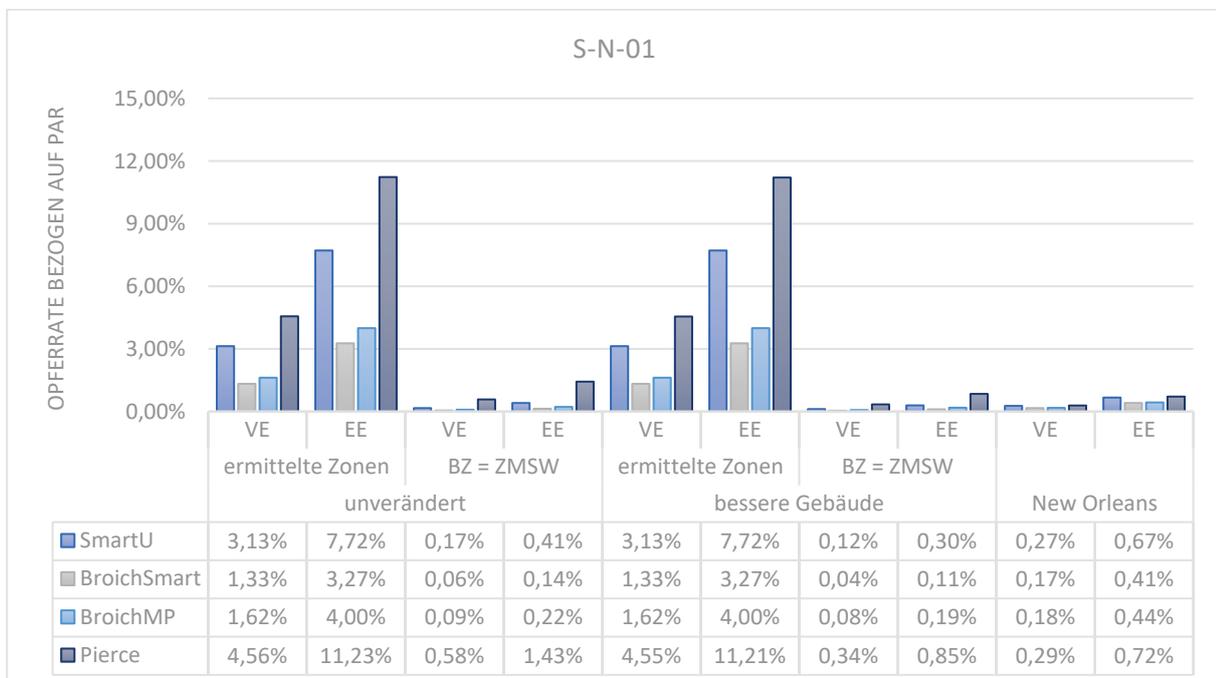
Diagramm 4.39: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) in der Nacht im August nach Jonkman

In Diagramm 4.38 und Diagramm 4.39 zeigt sich ein ähnliches Bild verglichen mit der Zeitkategorie „Winter“ (siehe Diagramm 4.32 und Diagramm 4.33). Die Opferraten bezogen auf jene Personen, die im Gefahrengebiet verbleiben (EXP) sind unabhängig vom

Evakuierungsszenario (VE oder EE). Eine andere interessante Beobachtung ist, dass sich die hier berechneten Opferraten nur geringfügig von den Opferraten aus Diagramm 4.32 und Diagramm 4.33 im Winter unterscheiden. Sie liegen in beiden Zeitkategorien im schlechtesten Fall bei etwa 50 %.



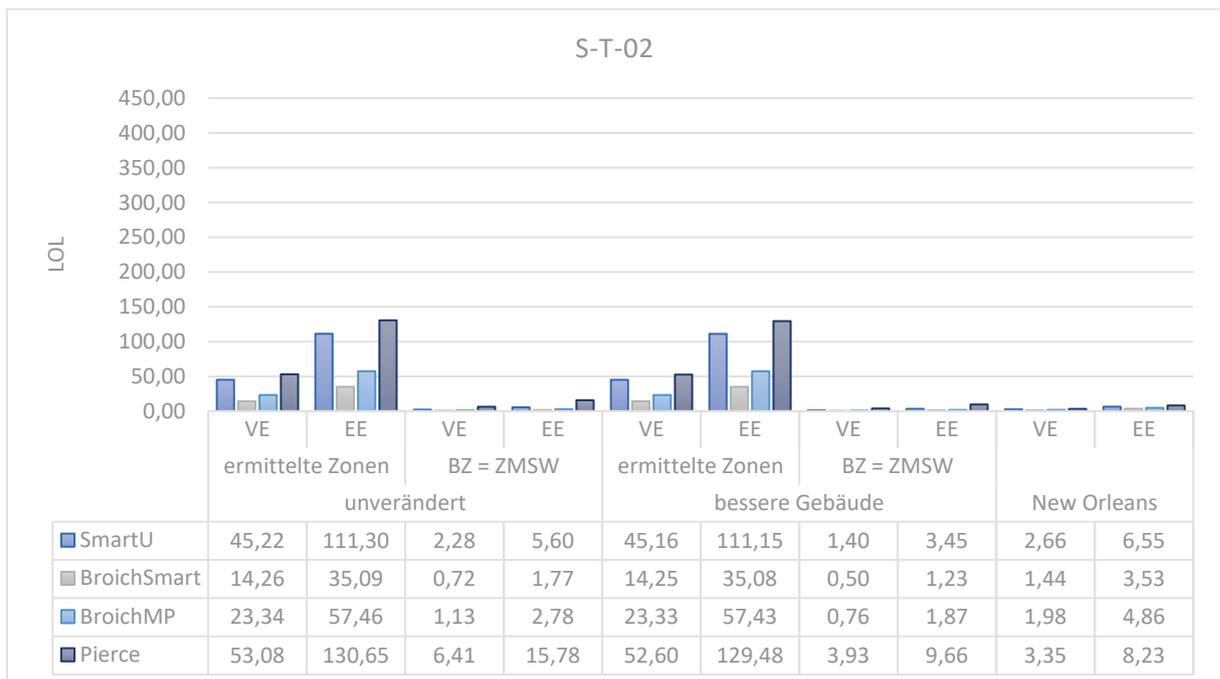
**Diagramm 4.40: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (PAR) am Tag im August nach Jonkman**



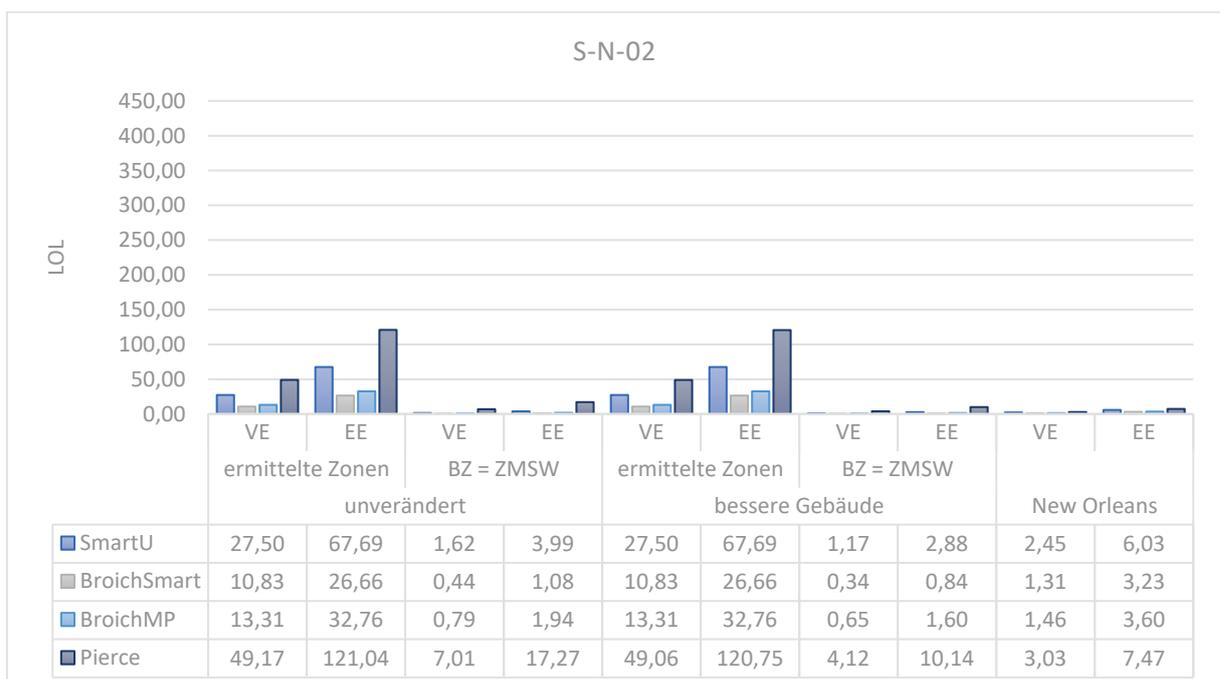
**Diagramm 4.41: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (PAR) in der Nacht im August nach Jonkman**

Wie bereits im Winter, so ist auch im August (siehe Diagramm 4.40 und Diagramm 4.41) die Opferrate bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (PAR) gut vergleichbar mit den Opferzahlen aus Diagramm 4.36 und Diagramm 4.37.

**SOMMER - MAI**

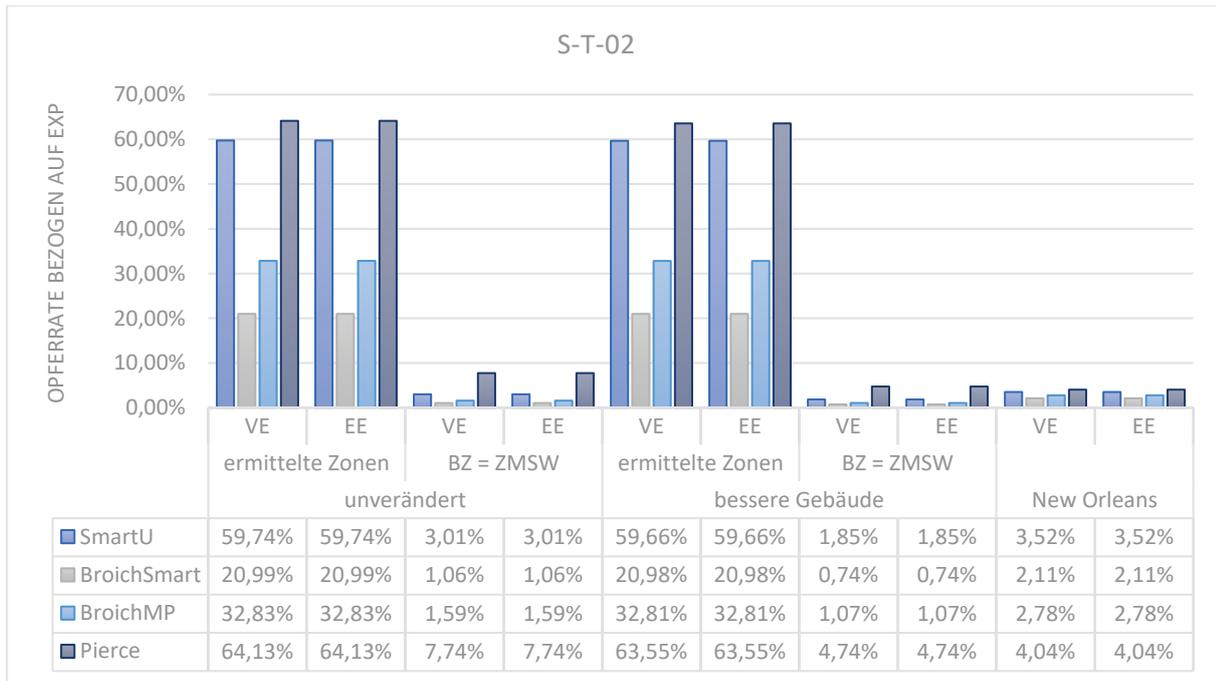


**Diagramm 4.42: Opferzahlen am Tag im Mai nach Jonkman**

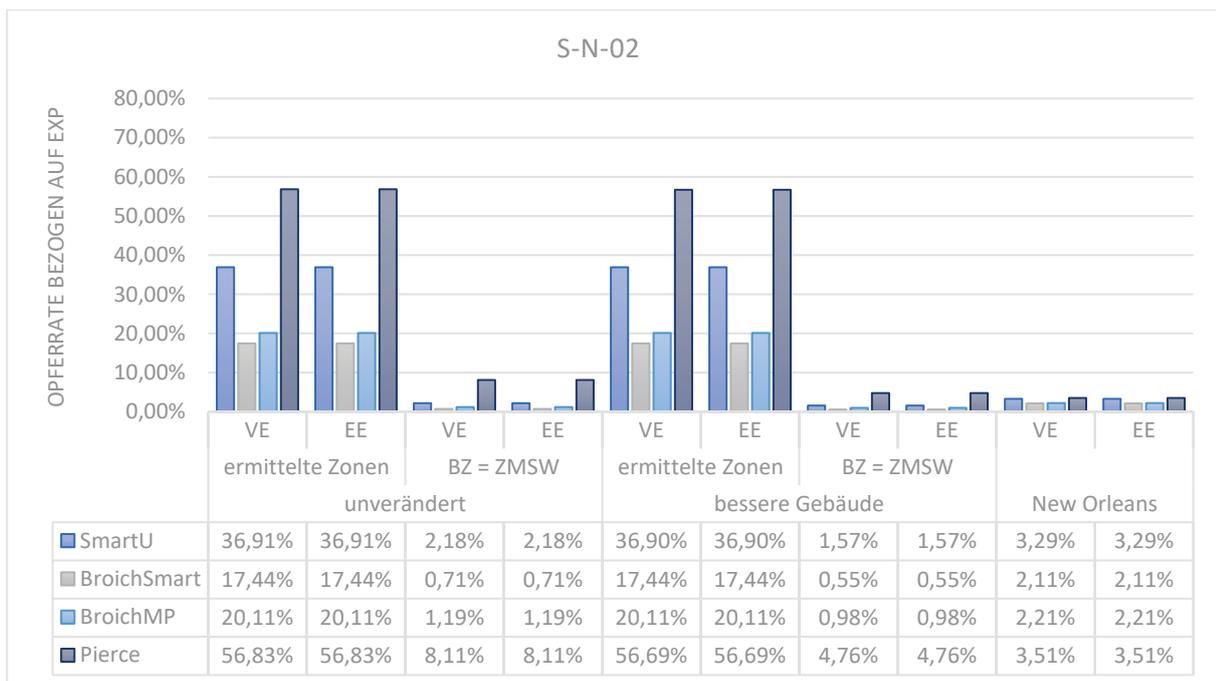


**Diagramm 4.43: Opferzahlen in der Nacht im Mai nach Jonkman**

Wie schon bei der Berechnung nach Graham für diese Zeitkategorie, zeigt sich auch in Diagramm 4.42 und Diagramm 4.43, dass aufgrund der berücksichtigten Schulen, die Opferzahlen tagsüber größer sind als nachts. Allerdings ist die Differenz zwischen Tag und Nacht deutlich geringer (siehe Diagramm 4.15 und Diagramm 4.16 für die Berechnung nach Graham). Nach Jonkman ergibt sich eine maximale Differenz von rund 40 Personen wohingegen die maximale Differenz nach Graham bei rund 150 Personen liegt.



**Diagramm 4.44: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) am Tag im Mai nach Jonkman**



**Diagramm 4.45: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) in der Nacht im Mai nach Jonkman**

Auch in Diagramm 4.44 und Diagramm 4.45 verschwinden die Unterschiede zwischen den Evakuierungsszenarien. Diesbezüglich ist ein klarer Trend innerhalb der Daten zu erkennen.

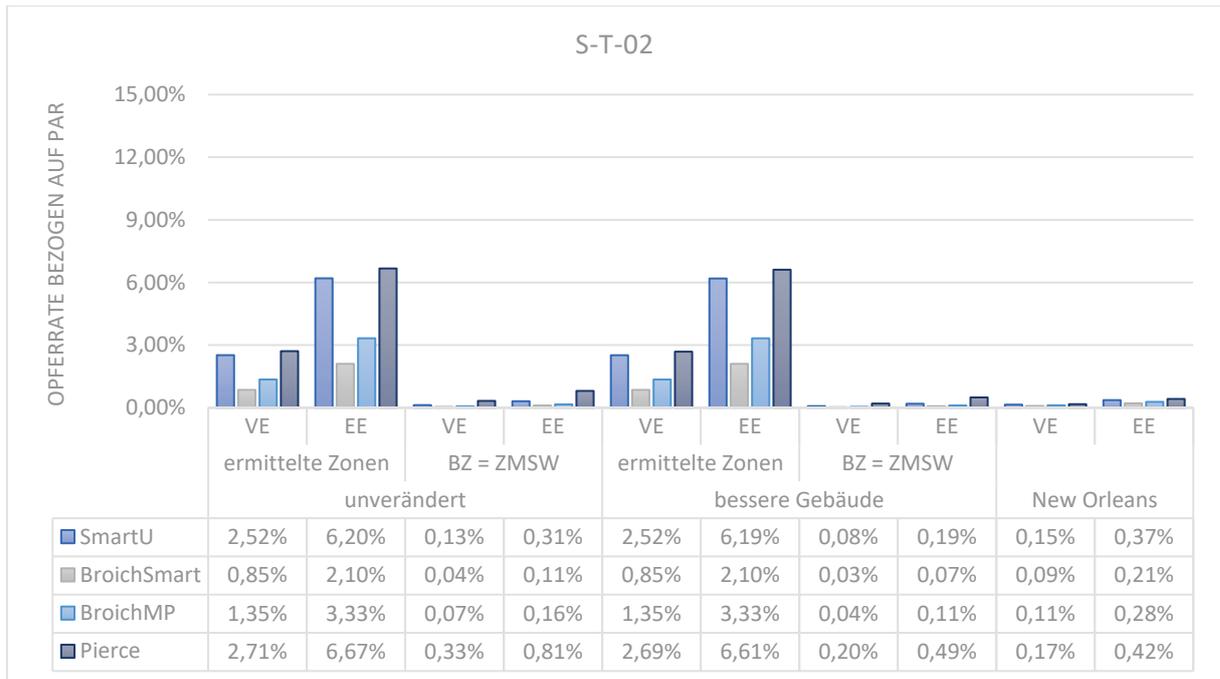


Diagramm 4.46: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengbiet (PAR) am Tag im Mai nach Jonkman

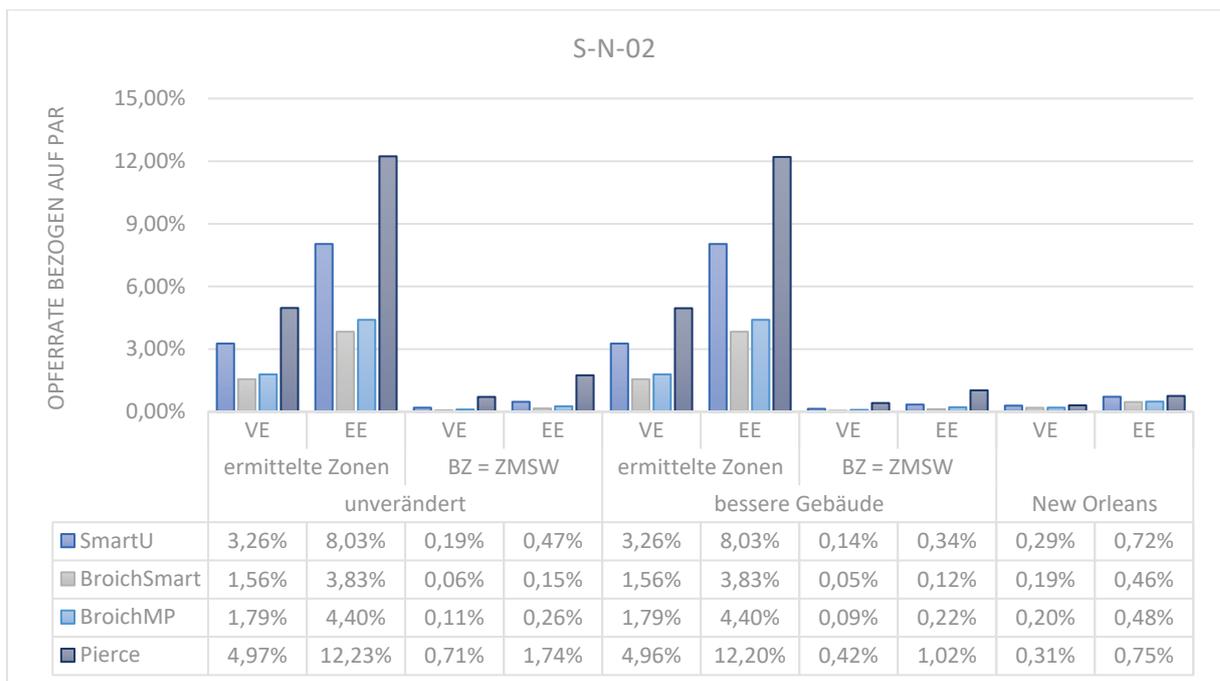


Diagramm 4.47: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengbiet (PAR) in der Nacht im Mai nach Jonkman

Die Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengbiet (PAR), wie sie in Diagramm 4.46 und Diagramm 4.47 dargestellt sind, weisen die selben Eigenschaften wie die Opferzahlen selbst auf (siehe Diagramm 4.42 und Diagramm 4.43). Dies ist dadurch zu erklären, dass die Unterschiede in den Opferzahlen nicht durch die Gleichungen zur Opferzahlenermittlung, sondern durch die unterschiedlichen Evakuierungsszenarien kommen.

#### 4.2.5.2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON JONKMAN

Die Ergebnisse nach der Berechnung von Jonkman zeigen durchwegs einen ähnlichen Trend. Die meisten Opfer sind bei Verwendung des unveränderten Ansatzes und der unveränderten Zoneneinteilung festzustellen. Dabei stellt wiederum die simulierte Flutwelle „Pierce“ jenen Fall, mit den höchsten Opferzahlen dar.

Die Einteilung ohne Bruchzone („BZ = ZMSW“) zeigt deutlich geringere Opferzahlen verglichen mit der unveränderten Zoneneinteilung. Dies ist allerdings nicht überraschend, wenn berücksichtigt wird, dass in der Bruchzone eine Opferrate von 100 % angenommen wird. Es zeigt sich, dass die Opferzahlen ohne Bruchzone unrealistisch gering ausfallen. Es scheint unglaublich, dass bei voller Belegung der Hotels in der Nacht, bei einer erzwungenen Evakuierung „nur“ 40 Opfer zu erwarten sind. Dies ist besonders bei Berücksichtigung der hohen Fließgeschwindigkeiten im gesamten Gebiet zu hinterfragen.

Die unterschiedlichen Zeitkategorien zeigen, dass prinzipiell in der Nacht mit größeren Opferzahlen zu rechnen ist als am Tag. Allerdings zeigt die Zeitkategorie „Sommer – Mai“ ein anderes Bild. Da bei dieser Zeitkategorie wenig Touristen im Gebiet sind und die Schule voll belegt ist, sind die meisten Opfer am Tag zu erwarten. Diese Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Opferzahlen nach dem Verfahren nach Graham (vergleiche Kapitel 4.2.4).

## 4.3 HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN MARIASDORF

### 4.3.1 ANLAGENBESCHREIBUNG

Beim Absperrbauwerk handelt es sich um einen homogenen Erddamm welcher rund 1,5 km nördlich der Ortschaft Tauchen liegt und diese vor einem 100-jährlichen Hochwasser (HQ100) schützen soll. Der Damm ist dabei rund 12 m hoch und weist eine Kronenlänge von rund 110 m auf. An der Basis weist der Damm eine Breite von 75 m auf. Für die Errichtung des Damms wurde anstehendes Material, welches einem Schluff-Sand-Gemisch mit hohem Feinanteil entspricht, verwendet. Bei HQ100 und 1 m Freibord weist das Hochwasserrückhaltebecken ein Speichervolumen von  $2,5 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  auf. Bis zur Krone gefüllt beträgt das Speichervolumen rund  $3,3 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ .

### 4.3.2 EIGENSCHAFTEN DES UNTERSUCHTEN GEBIETS

Das untersuchte Gebiet erstreckt sich entlang des Tauchenbachs und ist etwa 24 km lang. Es erstreckt sich dabei vom Hochwasserrückhaltebecken Mariasdorf bis zum Hochwasserrückhaltebecken Großpetersdorf.

Die Topografie des untersuchten Gebiets kann, mit einem durchschnittlichen Gefälle von 7 ‰, als flach beschrieben werden. Die Überflutungsflächen bestehen zum Großteil aus Feldern und Wäldern, allerdings sind auch einige Ortschaften betroffen, durch die der Tauchenbach fließt. Dabei handelt es sich um folgende Ortschaften:

- Tauchen
- Bergwerk
- Stadtschlaining
- Altschlaining
- Neumarkt

Der Tauchenbach weist im untersuchten Gebiet einige Einmündungen anderer Bäche auf, wovon der Stubenbach und der Glasbach die größten darstellen.

#### 4.3.2.1 BEVÖLKERUNG

Um den Einfluss der Bevölkerung auf die Opferzahlenermittlung zu berücksichtigen, wird davon ausgegangen, dass es sich in dieser Region in erster Linie um Einfamilienhäuser handelt. Typische Haushaltsgrößen können aus den Daten von Statistik Austria herangezogen werden. Die Daten zeigen die Entwicklung der Haushaltsgrößen alle 5 Jahre. Des Weiteren sind Daten für das gesamte Bundesgebiet sowie die einzelnen Bundesländer vorhanden. Im

Burgenland wird auf Basis dieser Daten eine durchschnittliche Haushaltsgröße von rund 2,35 Personen ermittelt.<sup>284</sup>

### 4.3.3 FLUTWELLEN

Wie bereits erwähnt wurden im Zuge der Arbeit von Dünkner<sup>285</sup> für unterschiedliche Dammbuchszszenarien des Hochwasserrückhaltebeckens Mariasdorf/Tauchen Flutwellenanalysen durchgeführt. Dabei wurden die Abflussganglinien abermals mit dem Programm DEICH ermittelt. Für die Berechnungen wurden die Abflusswerte eines 100-jährlichen Ereignisses gewählt, da das Hochwasserrückhaltebecken auf ein solches Ereignis ausgelegt ist. Des Weiteren wurde auch ein Versagensszenario bei einem 5000-jährlichen Hochwasser (HQ5000) untersucht.

Die simulierten Flutwellen setzen sich wie folgt zusammen:

- Smart/ungleichförmig (SmartU) Spitzenabfluss  $Q_p = 247,31 \text{ m}^3/\text{s}$
- Smart (Smart) Spitzenabfluss  $Q_p = 137,57 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rüdissler – HQ100 (Rüdissler) Spitzenabfluss  $Q_p = 506,12 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rüdissler – HQ5000 (HQ5000) Spitzenabfluss  $Q_p = 573,65 \text{ m}^3/\text{s}$

Diese vier Flutwellen resultieren in unterschiedlichen Überschwemmungsgebieten und unterscheiden sich in der somit die Anzahl der Personen im Gefahrengebiet. Die simulierten Flutwellen sind in den Abb. 4.26 bis Abb. 4.29 dargestellt.

---

<sup>284</sup> Statistik Austria: Haushaltsgrößen

URL: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte\\_familien\\_lebensformen/haushalte/023303.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/023303.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

<sup>285</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

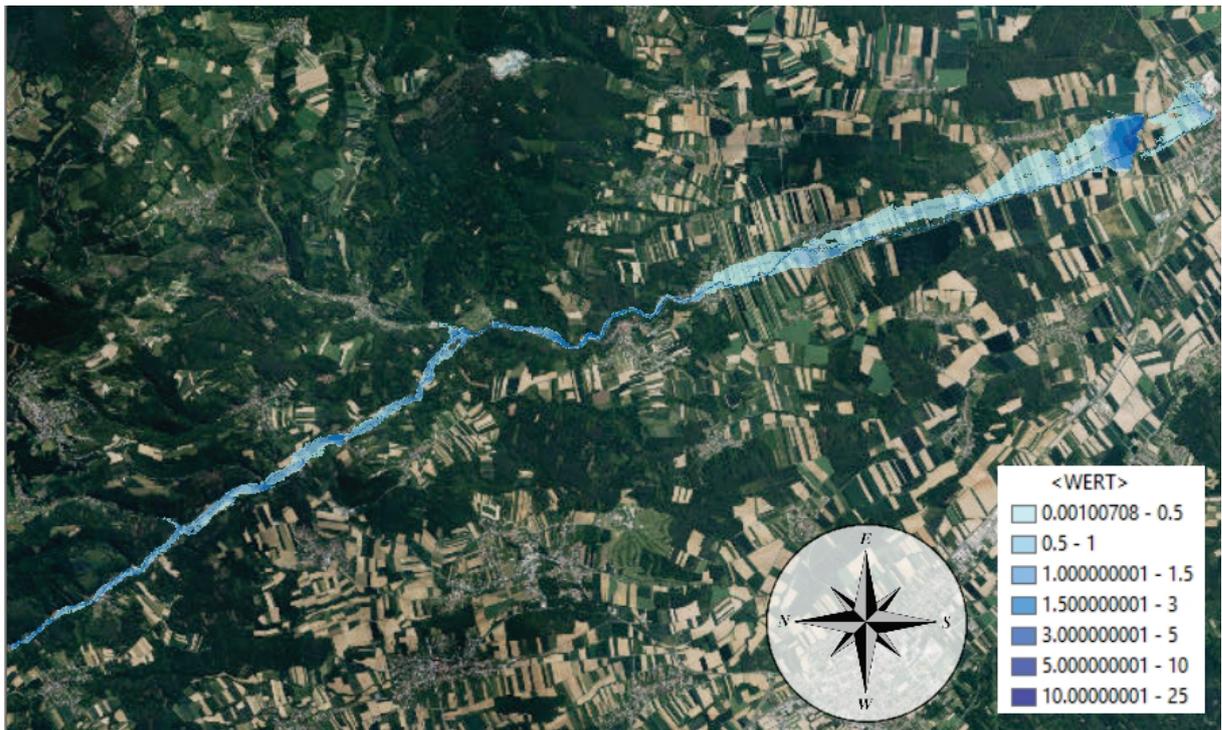


Abb. 4.26: Übersicht SmartU<sup>286</sup>

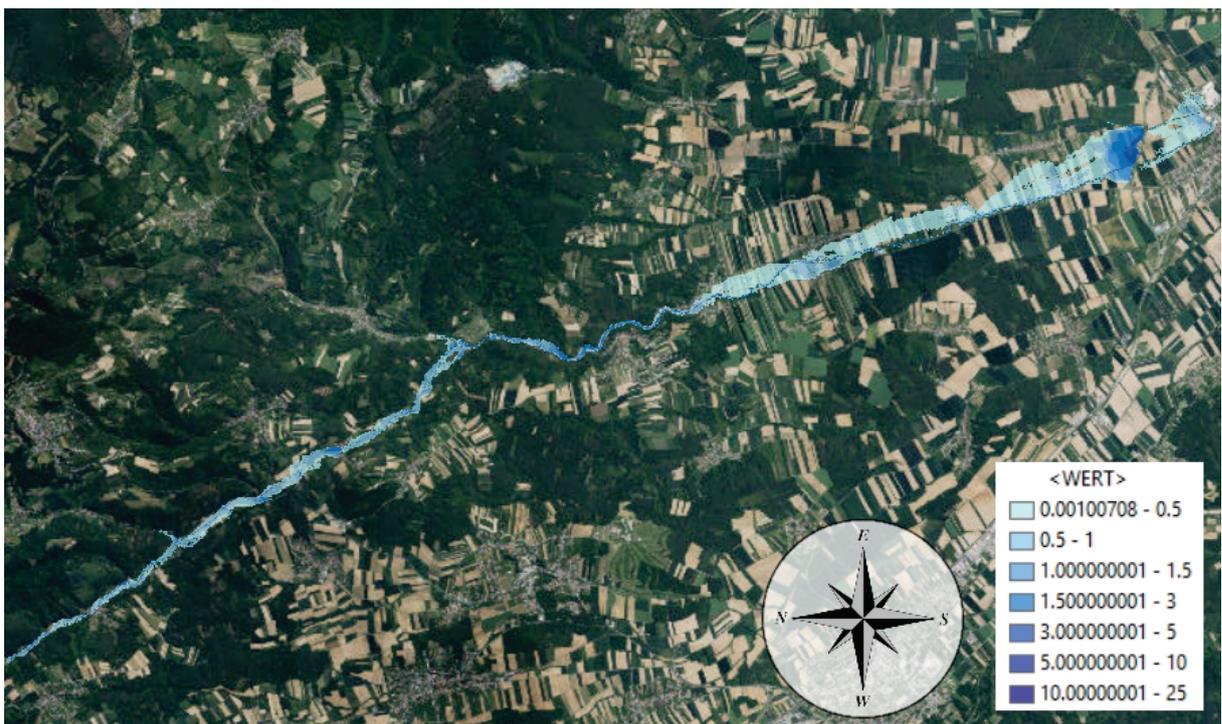


Abb. 4.27: Übersicht Smart<sup>286</sup>

<sup>286</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Burgenland und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

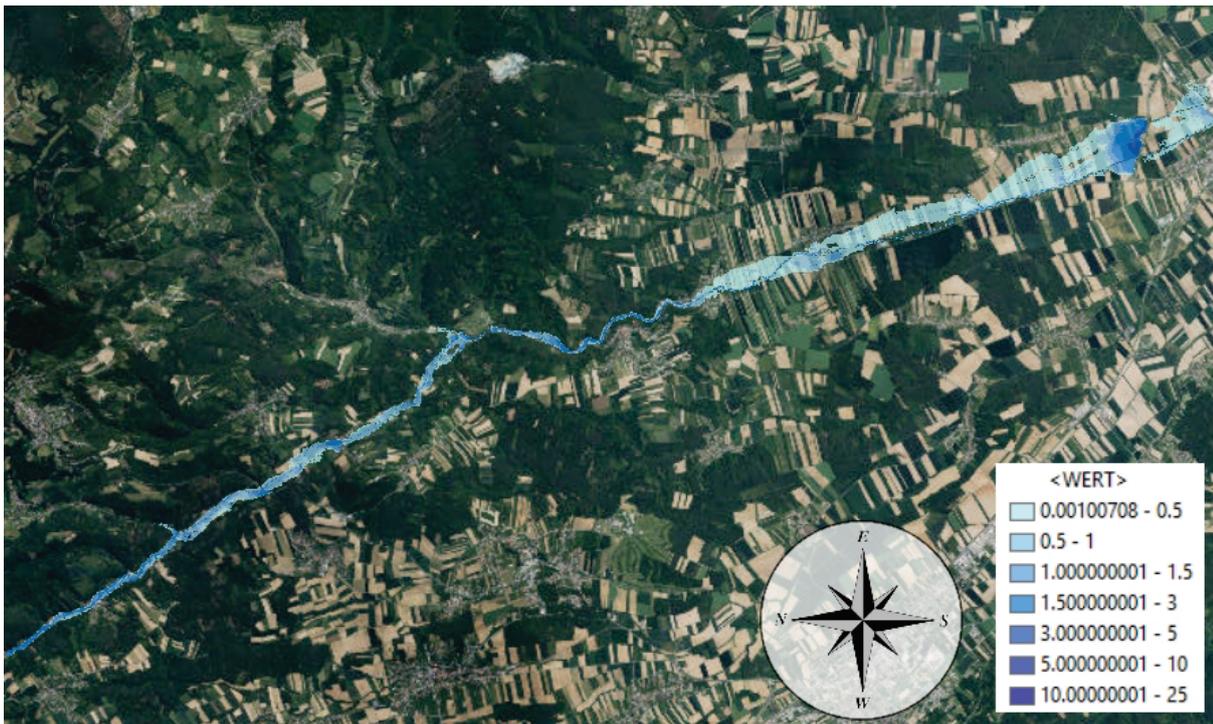


Abb. 4.28: Übersicht Rüdiss<sup>287</sup>

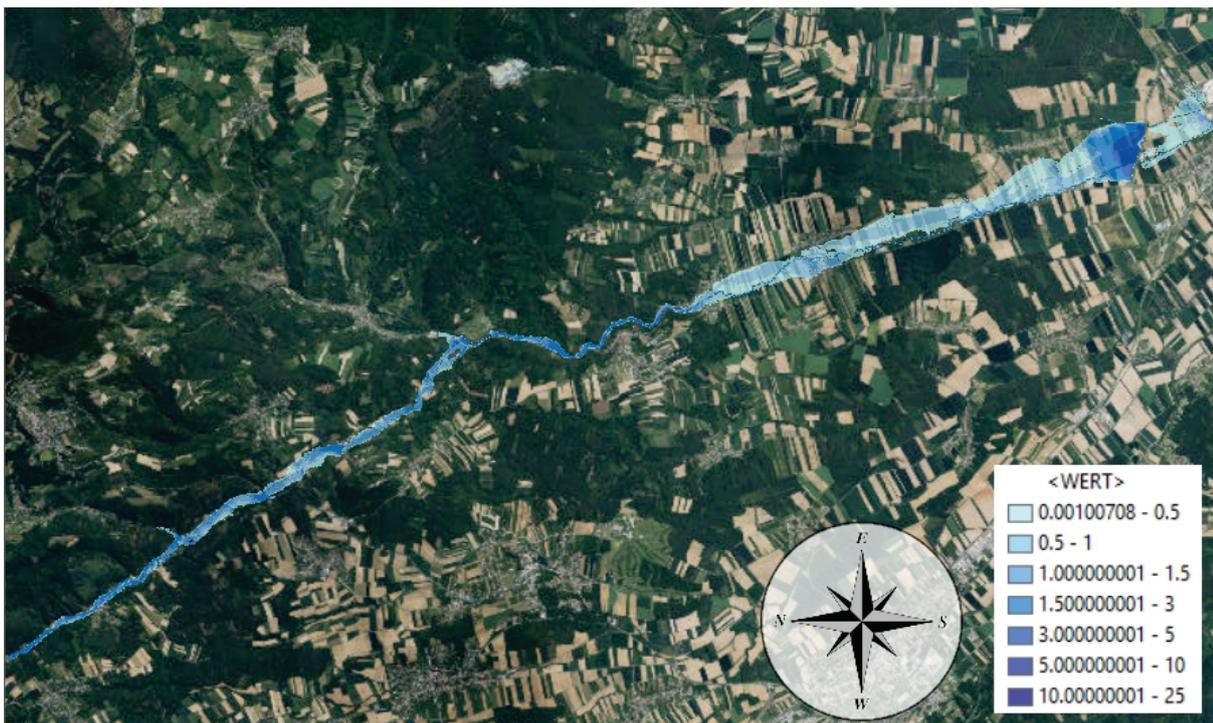


Abb. 4.29: Übersicht HQ5000<sup>287</sup>

<sup>287</sup> Bild mit ArcMap 10.5 erstellt, Daten zur Verfügung gestellt vom Land Burgenland und von offene Daten Österreichs (URL: <https://www.data.gv.at/>)

### 4.3.4 GRAHAM METHODE

Im folgenden Kapitel wird die Methode nach Graham wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, Schritt für Schritt angewendet.

#### **SCHRITT 1: DEFINITION DER ZU UNTERSUCHENDEN VERSAGENSSZENARIOEN**

Bei den zu untersuchenden Dammbuchszszenarien handelt es sich um jene vier Szenarien, welche in Kapitel 4.3.3 beschrieben sind.

- SmartU Spitzenabfluss  $Q_p = 247,31 \text{ m}^3/\text{s}$
- Smart Spitzenabfluss  $Q_p = 137,57 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rüdissler Spitzenabfluss  $Q_p = 506,12 \text{ m}^3/\text{s}$
- HQ5000 Spitzenabfluss  $Q_p = 573,65 \text{ m}^3/\text{s}$

#### **SCHRITT 2: DEFINITION DER ZEITKATEGORIEN FÜR WELCHE DIE EINSCHÄTZUNG DER OPFER**

##### **GESUCHT IST**

Das untersuchte Gebiet ist wenig bis gar nicht durch jahreszeitliche Schwankungen von Personenzahlen gekennzeichnet. Aus diesem Grund scheint eine Einteilung in mehrere Zeitkategorien nicht notwendig. Es wird eine Einteilung in Winter und Sommer vorgenommen. Die gewählten Zeitkategorien sind in Tabelle 4.3.1 gelistet.

Tabelle 4.3.1: Einteilung der Zeitkategorien

Jahreszeit	Tageszeit	Bezeichnung	Beschreibung	Anmerkungen
Winter	Tag	W-T-01	Zeitkategorie zur Beschreibung der Personen am Tag im Winter	- Schulen und Kindergärten voll - Fußballplätze ungenutzt
	Nacht	W-N-01	Zeitkategorie zur Beschreibung der Personen in der Nacht im Winter	- Schulen und Kindergärten leer - Fußballplätze ungenutzt
Sommer	Tag	S-T-01	Zeitkategorie zur Beschreibung der Personen am Tag im Sommer	- Schulen und Kindergärten voll - Fußballplätze genutzt
	Nacht	S-N-01	Zeitkategorie zur Beschreibung der Personen in der Nacht im Sommer	- Schulen und Kindergärten leer - Fußballplätze genutzt

#### **SCHRITT 3: DEFINITION WANN ES ZU WARNUNGEN DER BEVÖLKERUNG KOMMT**

Die Einteilung der Warnungskategorien erfolgt wie im Fallbeispiel der Stauanlage Kartell (siehe Kapitel 4.2) und ist in Tabelle 4.3.2 dargestellt.

**Tabelle 4.3.2: Einteilung der Vorwarnzeiten nach Graham**

Kategorie	Tageszeit	Warnung	Bezeichnung
Keine Vorwarnzeit	Tag und Nacht	keine	WT-Ref
Viele Beobachter	Tag	15 Minuten vor Dammversagen	WT-B-T
	Nacht	15 Minuten nach Dammversagen	WT-B-N
Keine Beobachter	Tag	15 Minuten nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	WT-K-T
	Nacht	60 Minuten nachdem die Flutwelle besiedeltes Gebiet erreicht	WT-K-N

**SCHRITT 4: DEFINITION DES ÜBERFLUTUNGSGEBIETS**

Das Überflutungsgebiet wird anhand der in Schritt 1 definierten Dammbuchszszenarien modelliert. Die Arbeit stützt sich dabei auf die Ergebnisse der Arbeit von Dünkner.<sup>288</sup>

**SCHRITT 5: EINSCHÄTZUNG DER PERSONEN IN DER GEFAHRENZONE (PAR) FÜR ALLE VERSAGENSZENZENARIEN UND ZEITKATEGORIEN**

Für die Einschätzung der Personen in der Gefahrenzone sind mehrere Überlegungen notwendig. Zunächst werden die Gebäude im Überflutungsgebiet aufgenommen und ihrer Bestimmung zugeordnet. Dabei ergeben sich folgende Gebäudekategorien:

- Wohnhaus
- Büros
- Fußballplatz
- Lager
- Wirtschaftsgebäude

Für jede Gebäudekategorie wird abgeschätzt, wie viele Personen sich in den Gebäuden befinden. Tabelle 4.3.3 zeigt dabei die angenommene Anzahl an Personen pro Gebäude.

**Tabelle 4.3.3: Anzahl der Personen pro Gebäude**

Gebäude	Winter		Sommer	
	Nacht	Tag	Nacht	Tag
	W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01
<b>Wohnhaus</b>	2,35	1	2,35	1
<b>Büros</b>	0	10	0	10
<b>Fußballplatz</b>	0	0	0	50
<b>Lager</b>	0	1	0	1
<b>Wirtschaftsgebäude</b>	0	0	0	0

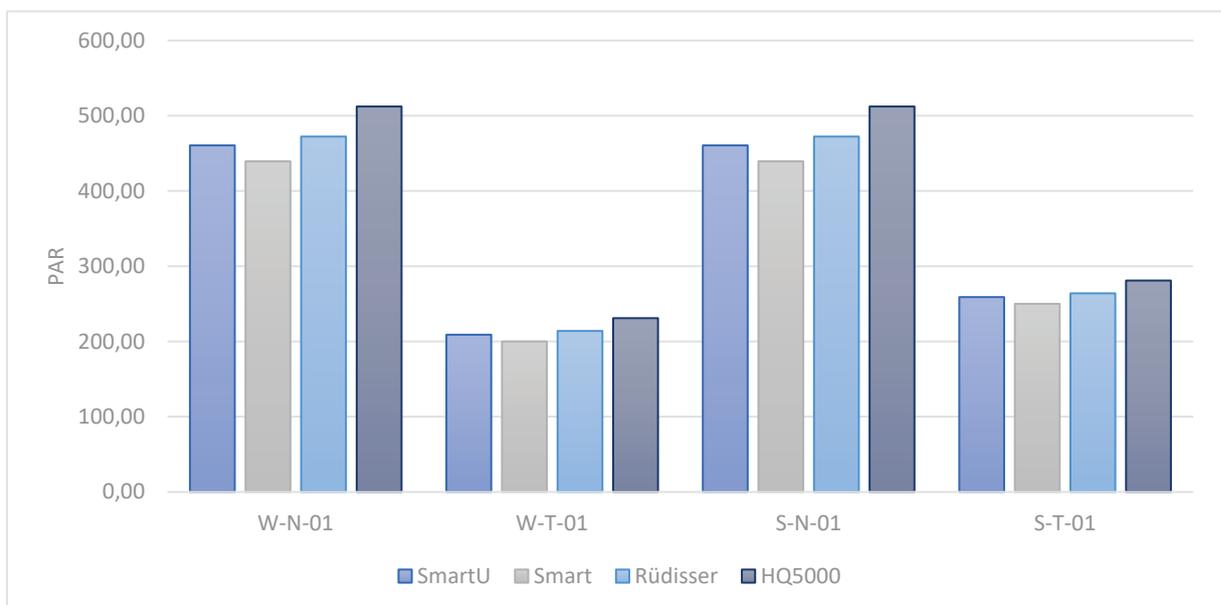
<sup>288</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

**POPULATION AT RISK (PAR)**

Um nun die tatsächliche Bevölkerung im Überflutungsgebiet abschätzen zu können wird jedes Gebäude innerhalb der Überschwemmungsgrenzen aufgezeichnet und einer Gebäudekategorie zugeteilt. Die Vorgangsweise kann dabei aus Kapitel 4.2.4, Schritt 5 entnommen werden. Insgesamt werden 224 Gebäude aufgenommen und hinsichtlich ihrer Nutzung bewertet. Tabelle 4.3.4 und Diagramm 4.48 zeigen die Personen im Gefahrengebiet.

**Tabelle 4.3.4: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle**

	Winter		Sommer	
	Nacht	Tag	Nacht	Tag
	W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01
<b>SmartU</b>	460,60	209,00	460,60	259,00
<b>Smart</b>	439,45	200,00	439,45	250,00
<b>Rüdisser</b>	472,35	214,00	472,35	264,00
<b>HQ5000</b>	512,30	231,00	512,30	281,00

**Diagramm 4.48: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle**

In Diagramm 4.48 ist deutlich zu erkennen, dass bei einem 5000-jährlichen Hochwasserereignis (HQ5000) die meisten Personen betroffen sind. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Unterschiede zwischen Sommer und Winter nur sehr gering ausfallen. Nur am Tag gibt es eine Differenz von 50 Personen, da hier im Sommer auch der Fußballplatz in Altschlaining betroffen ist.

**SCHRITT 6: ANWENDUNG VON EMPIRISCHEN FORMELN UM DIE ANZAHL DER OPFER ZU****BERECHNEN**

Für die Abschätzung der Opfer muss zunächst die Vorwarnzeit, das Verständnis der Schwere der Flut sowie die Schwere der Flut selbst definiert werden. Alle drei Parameter sind notwendig, um Tabelle 3.2.9 von Graham anwenden zu können.

***VORWARZEIT UND VERSTÄNDNIS DER SCHWERE DER FLUT***

Die Vorwarnzeit wird mit Hilfe der Werte aus Tabelle 4.2.4 und den Ankunftszeiten der Flutwellen (siehe Tabelle 4.3.5) in den jeweiligen Ortschaften definiert. Das Verständnis der Schwere der Flut (vage oder präzise) erfolgt dabei nach der Definition von Graham, die besagt, dass das Verständnis nur dann präzise ist, wenn der Damm bereits versagt hat. Das heißt, dass Warnungen die bereits vor dem Versagen herausgegeben werden vage sind.

**Tabelle 4.3.5: Ankunftszeiten der Flutwellen in den jeweiligen Ortschaften in Minuten<sup>289</sup>**

Bezeichnung	SmartU	Smart	Rüdisser	HQ5000
Tauchen	13	15	8	6
Bergwerk	49	57	36	29
Stadtschlaining	85	100	73	54
Altschlaining	90	105	80	61
Neumarkt	118	135	105	80

Aus diesen Daten ergeben sich die in Tabelle 4.3.6 dargestellten Vorwarnzeiten und Verständnisse der Schwere der Flut.

<sup>289</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

Tabelle 4.3.6: Vorwarnzeiten und Verständnis der Schwere der Flut

Flutwelle	Ort	viele Beobachter				keine Beobachter			
		WT-B-T		WT-B-N		WT-K-T		WT-K-N	
		Tag	Verständnis	Nacht	Verständnis	Tag	Verständnis	Nacht	Verständnis
SmartU	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-28		-73	
	Tauchen	28	vage	-2	präzise	-15	präzise	-60	präzise
	Bergwerk	64	vage	34	präzise	21	präzise	-24	präzise
	Stadtschlaining	100	vage	70	präzise	57	präzise	12	präzise
	Altschlaining	105	vage	75	präzise	62	präzise	17	präzise
	Neumarkt	133	vage	103	präzise	90	präzise	45	präzise
Smart	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-30		-75	
	Tauchen	30	vage	0	präzise	-13	präzise	-58	präzise
	Bergwerk	72	vage	42	präzise	29	präzise	-16	präzise
	Stadtschlaining	115	vage	85	präzise	72	präzise	27	präzise
	Altschlaining	120	vage	90	präzise	77	präzise	32	präzise
	Neumarkt	150	vage	120	präzise	107	präzise	62	präzise
Rüdisser	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-23		-68	
	Tauchen	23	vage	-7	präzise	-20	präzise	-65	präzise
	Bergwerk	51	vage	21	präzise	8	präzise	-37	präzise
	Stadtschlaining	88	vage	58	präzise	45	präzise	0	präzise
	Altschlaining	95	vage	65	präzise	52	präzise	7	präzise
	Neumarkt	120	vage	90	präzise	77	präzise	32	präzise
HQ5000	Warnungszeitpunkt lt. Graham	15		-15		-21		-66	
	Tauchen	21	vage	-9	präzise	-22	präzise	-67	präzise
	Bergwerk	44	vage	14	präzise	1	präzise	-44	präzise
	Stadtschlaining	69	vage	39	präzise	26	präzise	-19	präzise
	Altschlaining	76	vage	46	präzise	33	präzise	-12	präzise
	Neumarkt	95	vage	65	präzise	52	präzise	7	präzise

### **Schwere der Flut**

Für die Schwere der Flut wird nur eine Einteilung in leichte und mittlere Schwere der Flut vorgenommen, da zum einen von Graham keine genauen Grenzwerte zur hohen Schwere der Flut angegeben wurden und zum anderen eine Hohe Schwere der Flut laut Graham nur direkt hinter dem Damm auftritt. Da allerdings auch für die definierte Grenze zwischen Leichter und Mittlerer Schwere der Flut mehrere Parameter existieren, wird die Einteilung durch folgende drei Parameter vorgenommen:

- $h$  (Wassertiefe)
  - Leicht:  $h < 3,0 \text{ m}$
  - Mittel:  $h \geq 3,0 \text{ m}$
- $DV$  (Parameter nach Graham)
  - Leicht:  $DV < 4,6$
  - Mittel:  $DV \geq 4,6$

- $hv$  (Äquivalent zu DV)
  - Leicht:  $hv < 4,6$
  - Mittel:  $hv \geq 4,6$

Anzumerken ist, dass der Parameter  $hv$  nicht aus der Arbeit von Graham stammt. Er wird eingeführt, um einen besseren Vergleich zwischen den Methoden von Graham und Jonkman, welche sich auf den Parameter  $hv$  bezieht, zu ermöglichen.

Tabelle 4.3.7 zeigt einen Auszug der ermittelten Schwere der Flut nach den drei Parametern. Es ist zu erkennen, dass zwischen dem Parameter der Wassertiefe  $h$  und dem Parameter  $DV$  kein Unterschied besteht, wohingegen der Parameter  $hv$  die Schwere der Flut in manchen Fällen höher einstuft.

**Tabelle 4.3.7: Auszug aus der Einteilung der Schwere der Flut der Flutwelle nach SmartU**

Gebiet / Ortschaft	Uferseite	Bauwerk	Tiefe	Geschwindigkeit	Schwere der Flut nach Wassertiefe	Schwere der Flut nach $hv$	Schwere der Flut nach $DV$
Tauchen	rechts	Haus	1,05	2,47	L	L	L
Tauchen	rechts	Haus	0,41	2,63	L	L	L
Tauchen	rechts	Haus					
Tauchen	links	Haus	0,83	0,26	L	L	L
Tauchen	links	Haus	0,39	1,73	L	L	L
Tauchen	links	Haus	0,68	3,87	L	L	L
Tauchen	links	Haus	0,59	2,61	L	L	L
Tauchen	links	Haus	0,49	2,18	L	L	L
Tauchen	links	Haus	1,78	2,11	L	L	L
Tauchen	links	Haus	0,88	2,64	L	L	L
Tauchen	links	Haus	1,39	2,33	L	L	L
Tauchen	links	Haus	1,68	3,32	L	M	L
Tauchen	links	Haus	1,9	3,16	L	M	L
Tauchen	links	Haus	1,28	3,63	L	M	L
Tauchen	rechts	Haus	2,19	3,45	L	M	L
Tauchen	rechts	Haus	1,1	2,88	L	L	L
Tauchen	rechts	Haus	0,21	0,88	L	L	L
Tauchen	rechts	Haus	2,74	3,84	L	M	L

### OPFERRATE

Für die zuvor angeführten Parameter kann nun die Opferrate ermittelt werden. Die Opferrate wird dabei wieder für jedes überflutete Gebäude einzeln definiert und so die Opferzahlen in jedem Gebäude ermittelt. Die Opferzahlen werden für die unterschiedlichen Parameter der Schwere der Flut sowie für jede Zeitkategorie und Vorwarnkategorie ermittelt. Dabei ergeben sich für jede simulierte Flutwelle 24 Kombinationsmöglichkeiten, was in Summe zu 96 unterschiedlichen Einschätzungen der Opferzahlen führt. Abb. 4.30 zeigt exemplarisch einen möglichen Kombinationspfad.

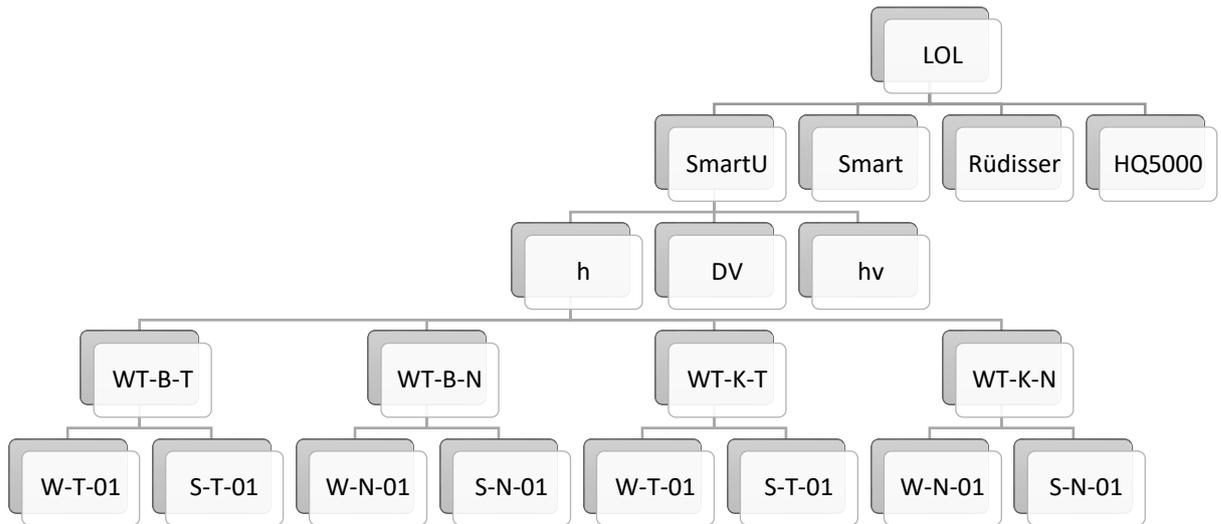


Abb. 4.30: Exemplarische Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten für SmartU und h als Parameter der Schwere der Flut

**ANZAHL DER OPFER (LOL)**

Nach der Auswertung der Opfer in jedem Gebäude kann auch die gesamte Opferzahl ermittelt werden. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen, gegliedert für jede Zeitkategorie dargestellt.

**WINTER**

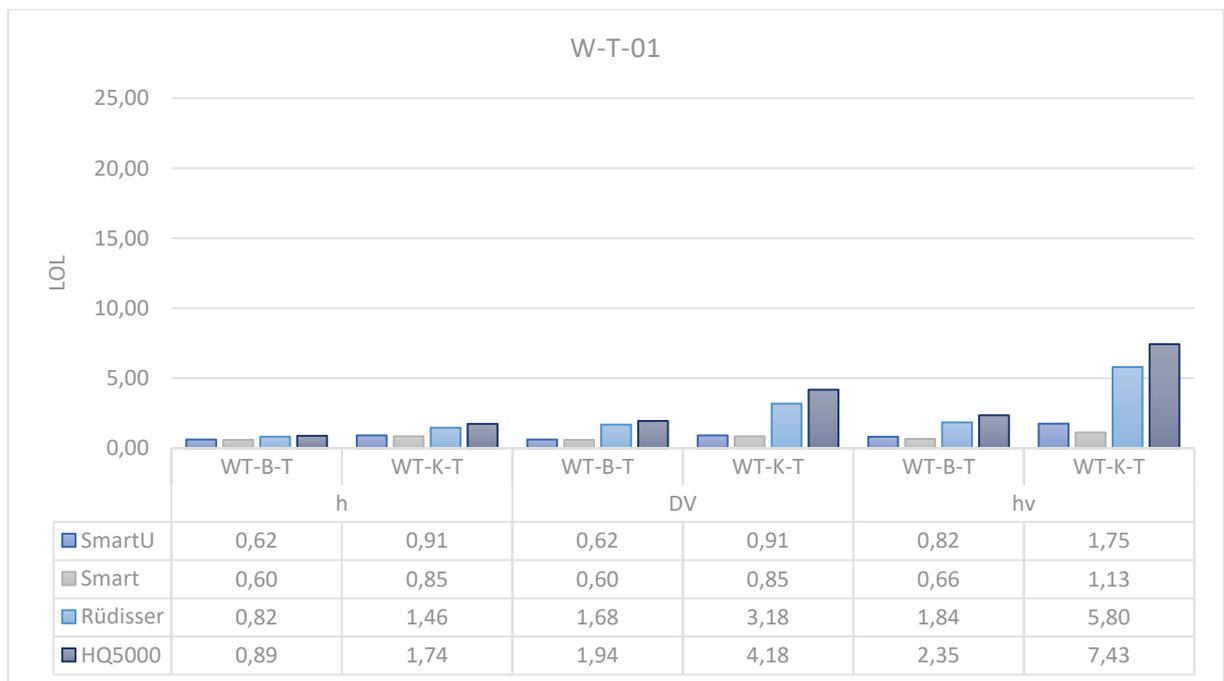


Diagramm 4.49: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Winter nach Graham

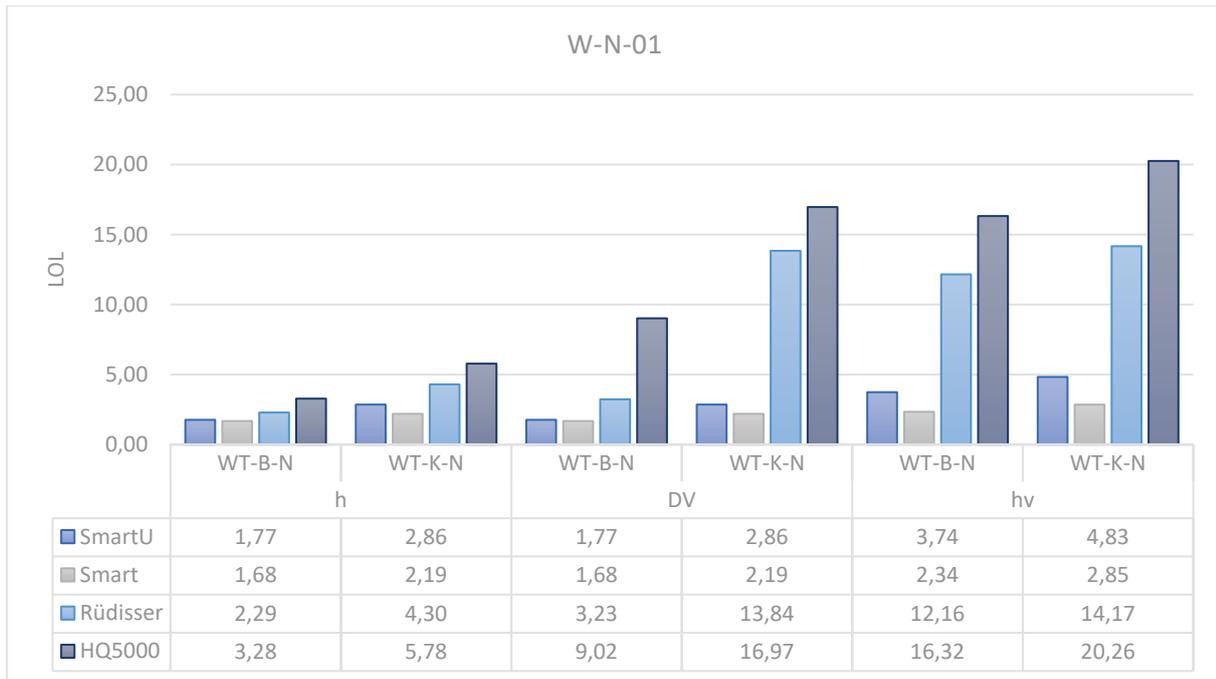


Diagramm 4.50: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Graham

In Diagramm 4.49 und Diagramm 4.50 sind markante Unterschiede zwischen Tag und Nacht zu erkennen. Auch wenn die Opferzahlen im Allgemeinen mit einem Maximalwert von 20,26 Opfern gering ausfallen, ist in der Nacht mit mindestens der doppelten Opferzahl zu rechnen. Die großen Differenzen können allerdings dadurch erklärt werden, dass die Personen, die sich im Gefahrengebiet befinden (*PAR*) sehr stark variieren (siehe Diagramm 4.48).

Werden die Parameter zur Berechnung der Opferrate (*h*, *DV*, *hv*) betrachtet, ist, wie bereits beim Fallbeispiel der Stauanlage Kartell (siehe Kapitel 4.2), zu erkennen, dass bei einer alleinigen Einteilung der Zonen nach dem Parameter der Wassertiefe die Opferzahlen unterschätzt werden. Diese Tatsache sollte bei der Verwendung dieses Parameters als erste Einschätzung der Opferzahlen immer im Hinterkopf behalten werden. Die Parameter *DV* und *hv* sind annähernd vergleichbar, auch wenn der Parameter *hv* etwas größere Opferraten liefert, sind die Unterschiede eher gering. Auffällig ist bei der Betrachtung aller Parameter, dass die unterschiedlichen Flutwellenszenarien die gleichen Verläufe aufweisen (*HQ5000* > *Rüdissler* > *SmartU* > *Smart*). Weiters ist zu erkennen, dass der Einfluss der Fließgeschwindigkeit geringer ausfällt, da Unterschiede zwischen dem Parameter *h* und den Parametern, welche die Fließgeschwindigkeit berücksichtigen (*DV* und *hv*) deutliche geringer sind. Auch diese Beobachtung kann erklärt werden, wenn man die Topografien der beiden Fallbeispiele vergleicht. Das untersuchte Gebiet in Mariasdorf ist sehr flach und das Wasser kann sich großflächig ausbreiten, wodurch die Fließgeschwindigkeiten sinken. Wohingegen im Fallbeispiel Kartell überwiegend enge Täler mit steilen Berghängen vorliegen, weshalb sich die Flutwelle nicht ausbreiten kann.

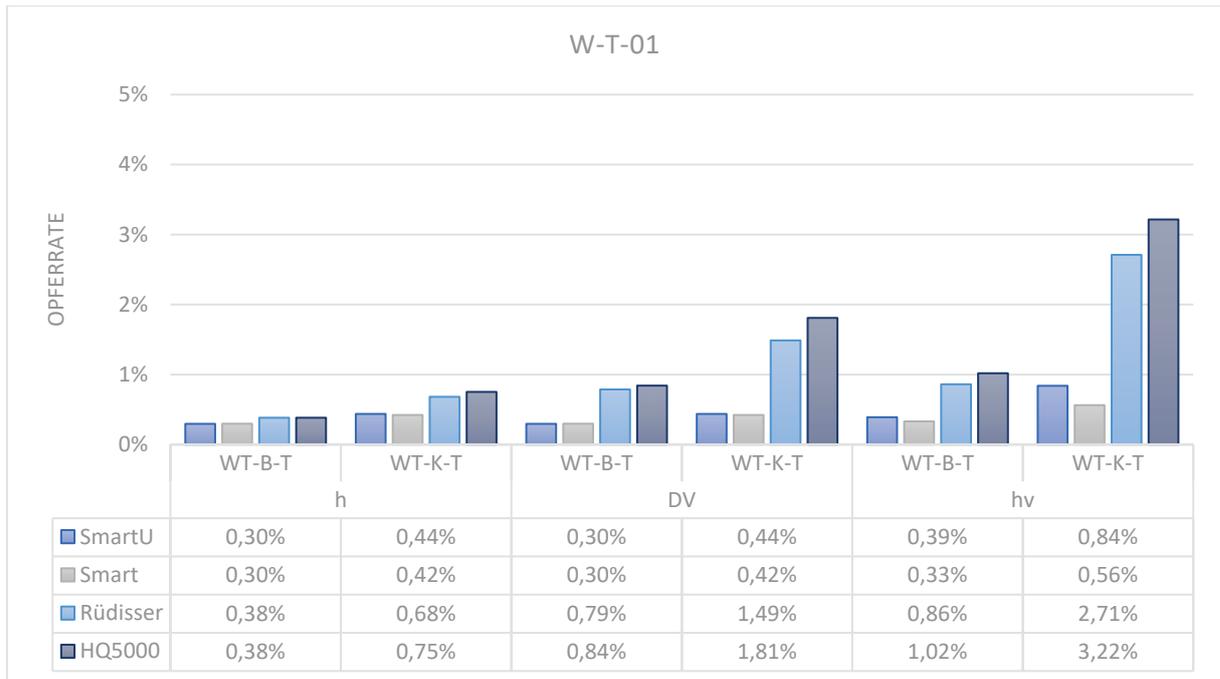


Diagramm 4.51: Ermittelte Opferraten am Tag im Winter nach Graham

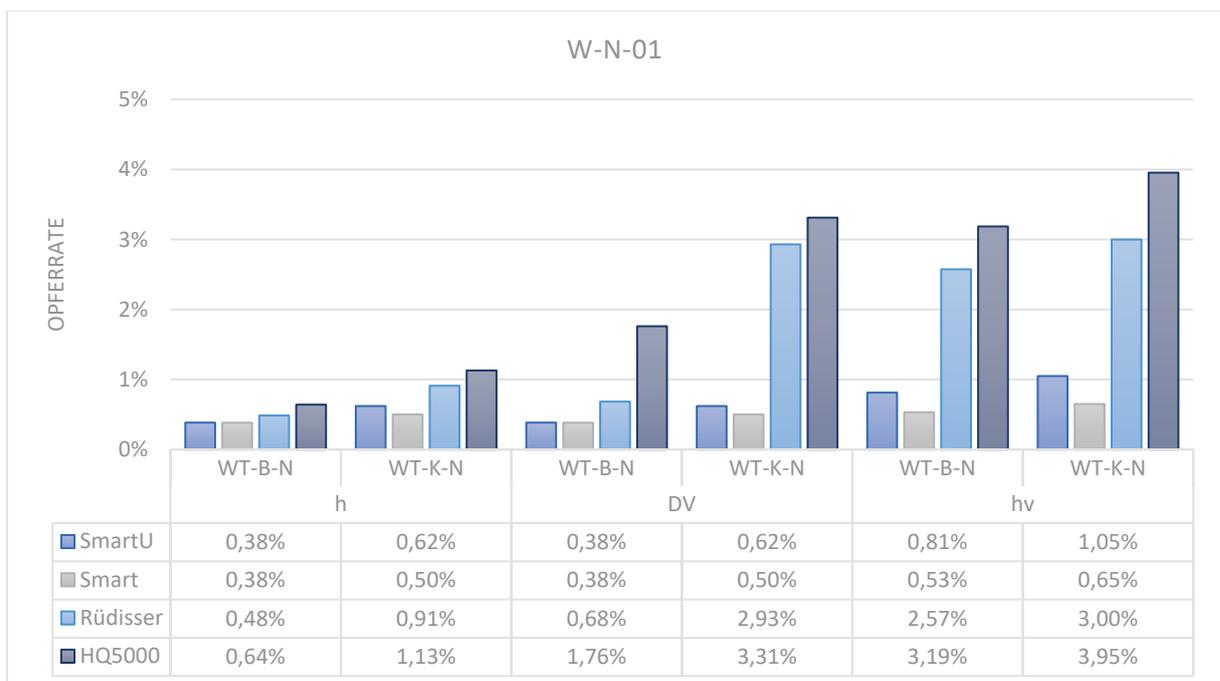
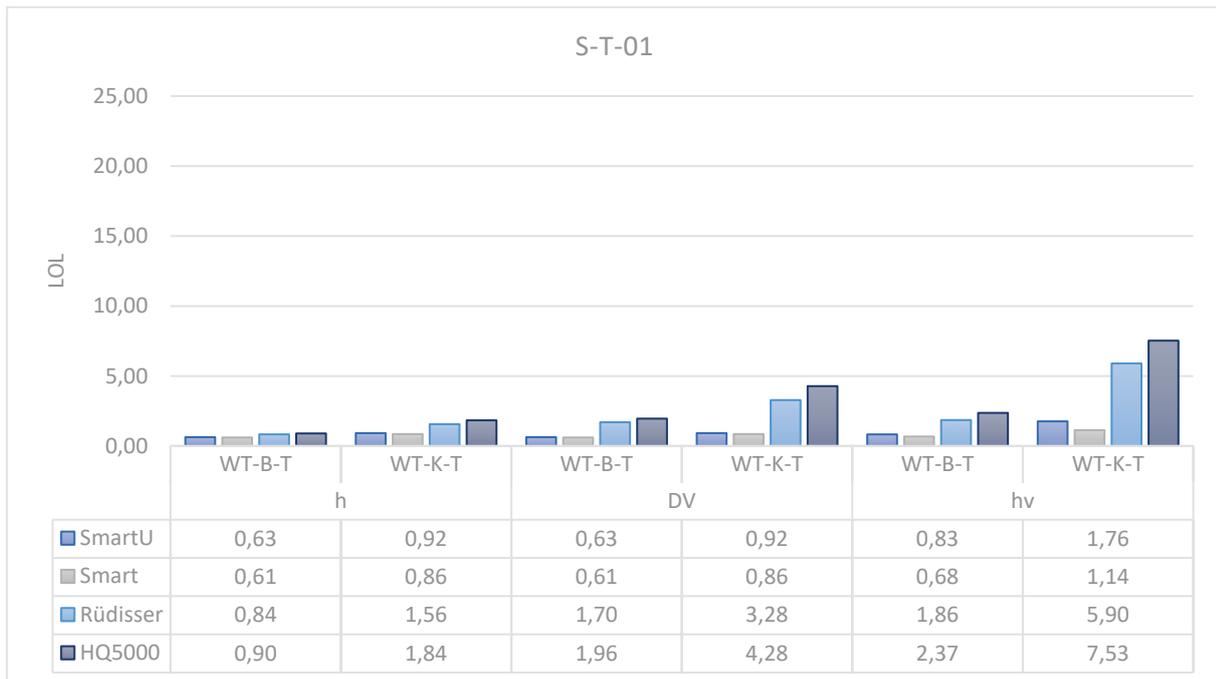


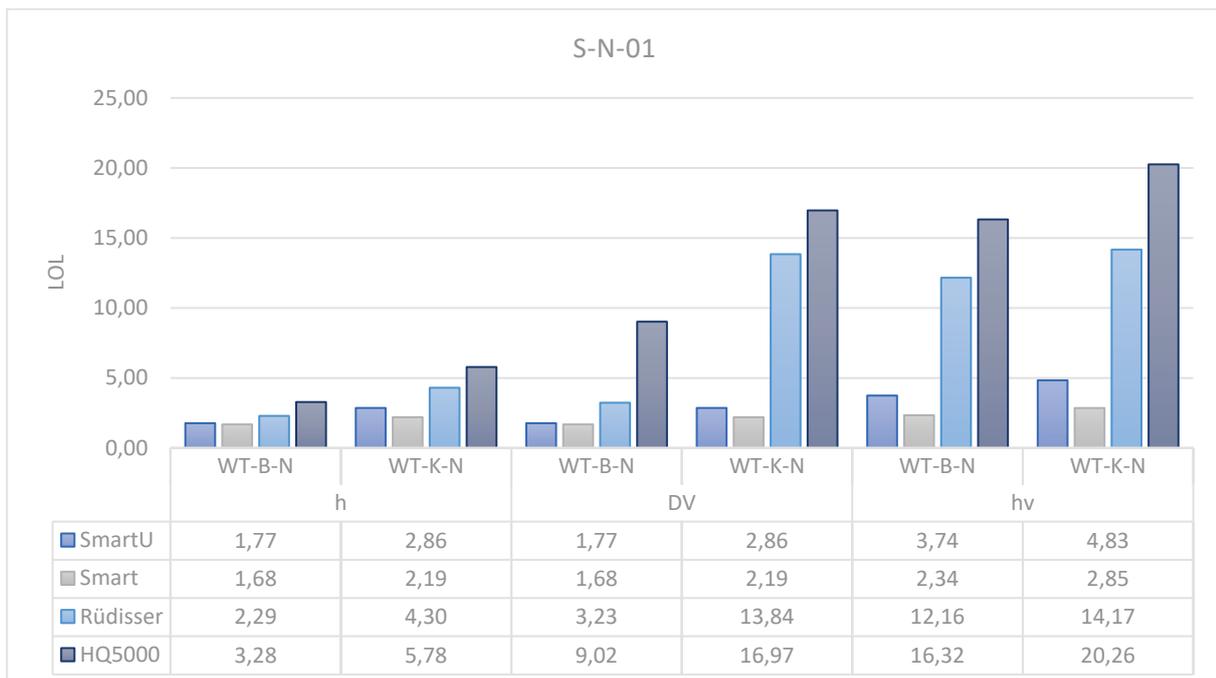
Diagramm 4.52: Ermittelte Opferraten in der Nacht im Winter nach Graham

Bei der Betrachtung der Opferraten in Diagramm 4.51 und Diagramm 4.52 ist zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen Tag und Nacht gering ausfallen. Die Unterschiede liegen in einer Größenordnung von rund 0,1 bis 0,7 Prozentpunkten. Was allerdings in Anbetracht der sehr geringen Opferraten (maximal 3,95 %), in Verbindung mit den unterschiedlichen Anzahlen der Personen im Gefahrengebiet (*PAR*), die großen Differenzen der Opferzahlen erklärt (siehe Diagramm 4.49 und Diagramm 4.50)

**SOMMER**



**Diagramm 4.53: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Sommer nach Graham**



**Diagramm 4.54: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Sommer nach Graham**

Werden die Opferzahlen im Sommer (siehe Diagramm 4.53 und Diagramm 4.54) mit jenen aus dem Winter (siehe Diagramm 4.49 und Diagramm 4.50) verglichen, so sind kaum Unterschiede zu erkennen. Lediglich am Tag sind Unterschiede in der zweiten Nachkommastelle, was unter Berücksichtigung der allgemeinen Ungenauigkeiten der Methode vernachlässigbar ist. Das keine Unterschiede festzustellen sind kann damit erklärt werden, dass das Untersuchungsgebiet kaum Arbeits- oder Freizeitstätten sowie Tourismus

aufweist. Dadurch sind keine Schwankungen der Personen im Gefahrengbiet (*PAR*) zu erwarten und folglich auch keine Unterschiede zwischen Winter und Sommer.

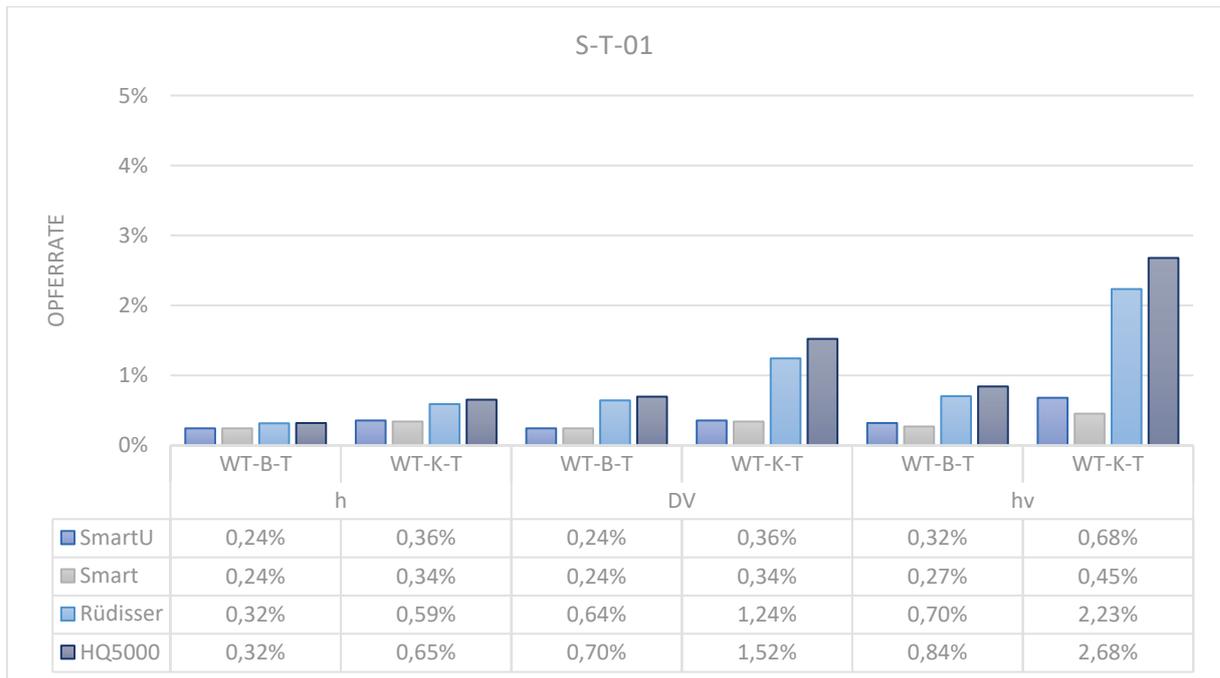


Diagramm 4.55: Ermittelte Opferraten am Tag im Sommer nach Graham

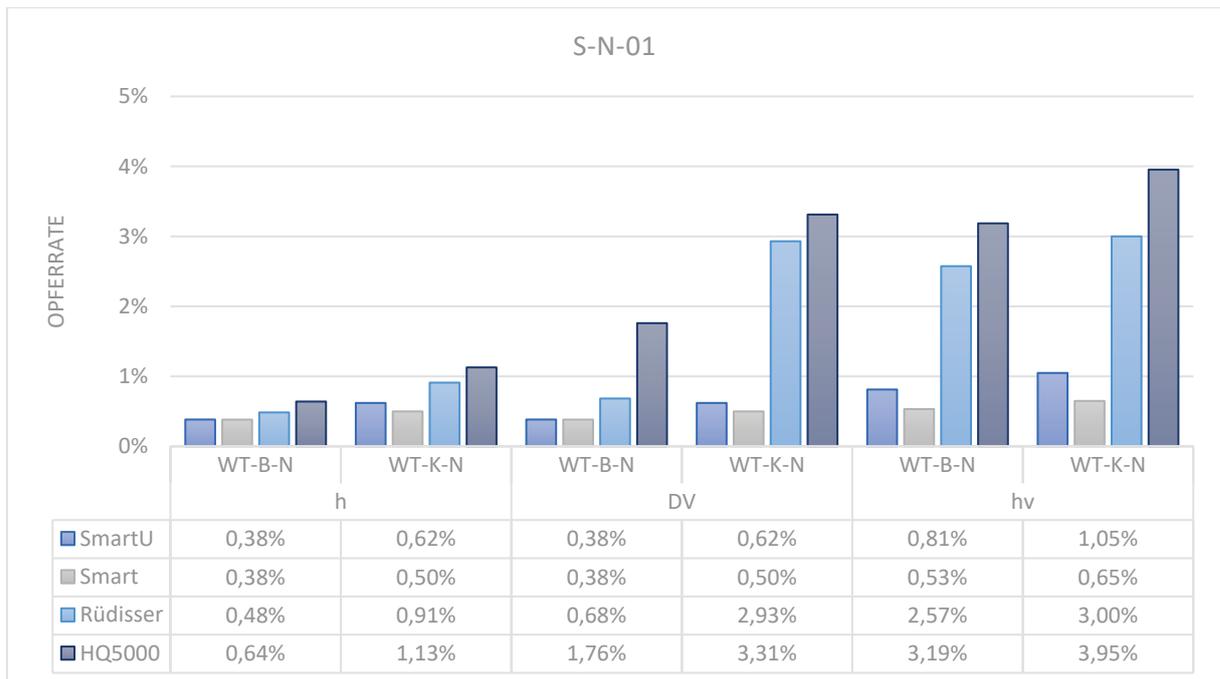


Diagramm 4.56: Ermittelte Opferraten in der Nacht im Sommer nach Graham

Werden die Opferraten im Sommer (siehe Diagramm 4.55 und Diagramm 4.56) mit jenen aus dem Winter (siehe Diagramm 4.51 und Diagramm 4.52) verglichen ist zu erkennen, dass die Opferraten in der Nacht ident sind. Das ist wenig überraschend, da in der Nacht sowohl im Winter als auch im Sommer die gleiche Anzahl an Personen im Gefahrengbiet (*PAR*) angenommen wurde und auch die Flutwellen dieselben sind.

Tagsüber ergibt sich allerdings ein anderes Bild. Da die Opferzahlen am Tag kaum Unterschiede aufweisen (siehe Diagramm 4.51 und Diagramm 4.53), aber die Personen im Gefahrengebiet (*PAR*), wie in Diagramm 4.48 dargestellt, zwischen Winter und Sommer am Tag um 50 Personen variieren, muss sich dieser Unterschied in den Opferraten widerspiegeln. Aus diesem Grund sind die Opferraten am Tag im Sommer um bis zu 0,6 % geringer.

Die Differenz von 50 Personen ergibt sich aus dem berücksichtigten Fußballplatz in Altschlaining. In Tabelle 4.3.8 ist zu erkennen, dass die berechneten Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten beim Fußballplatz sehr gering sind und folglich auch die Opferraten bei der Berechnung mit allen Parametern ( $h$ ,  $DV$ ,  $hv$ ) einen konstanten Wert von 0,0003 annehmen. Es ist zu erkennen, dass der Fußballplatz die Anzahl der Opfer nicht maßgeblich beeinflussen kann.

**Tabelle 4.3.8: Opferraten beim Fußballplatz in Altschlaining**

	Wassertiefe	Fließgeschwindigkeit	Opferrate		
			h	DV	hv
<b>SmartU</b>	0,36	0,91	0,0003	0,0003	0,0003
<b>Smart</b>	0,25	0,68	0,0003	0,0003	0,0003
<b>Rüdisser</b>	0,30	0,78	0,0003	0,0003	0,0003
<b>HQ5000</b>	0,64	1,41	0,0003	0,0003	0,0003

#### **4.3.4.2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON GRAHAM**

Werden die Ergebnisse aller Zeitkategorien miteinander verglichen, ist auffällig, dass bei der Betrachtung aller Parameter die unterschiedlichen Flutwellenszenarien die gleichen Verläufe aufweisen ( $HQ5000 > Rüdissers > SmartU > Smart$ ). Dies ist dadurch erklärbar, dass sich die Parameter nur sehr bedingt voneinander unterscheiden. Alle Parameter teilen den Großteil der untersuchten Gebäude der Kategorie der leichten Schwere der Flut zu. Das heißt, dass die Unterschiede in den berechneten Opferzahlen nicht durch die Schwere der Flut zu erklären ist, sondern aufgrund der unterschiedlich großen Überflutungsgebiete.

Werden die Berechnungen von Winter und Sommer miteinander verglichen, ist zu erkennen, dass die Ergebnisse keine wesentlichen Unterschiede aufweisen. Der marginale Unterschied ist durch einen Fußballplatz in Altschlaining erklärbar. An dieser Stelle sind jedoch nur sehr geringe Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten zu verzeichnen, weshalb sich die Ergebnisse in der Opferzahlenermittlung kaum unterscheiden. Allerdings wird durch den Fußballplatz die Opferrate herabgesetzt, da sich mehr Personen im Gefahrengebiet (*PAR*) befinden.

Im Allgemeinen ist sowohl im Winter als auch im Sommer mit sehr geringen Opferraten zu rechnen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass es die Topografie den Flutwellen erlaubt, sich großflächig auszubreiten und dadurch die Schwere der Flut verringert wird.

### 4.3.5 JONKMAN METHODE

Im folgenden Kapitel wird die Methode nach Jonkman wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben, Schritt für Schritt am Fallbeispiel des Hochwasserrückhaltebeckens Mariasdorf angewendet.

#### **SCHRITT 1: SIMULATION DER FLUTCHARAKTERISTIKA**

Es werden bei dieser Methode dieselben simulierten Flutwellen, wie bei der Methode nach Graham verwendet. Diese sind in Kapitel 4.3.3 beschrieben.

- SmartU Spitzenabfluss  $Q_p = 247,31 \text{ m}^3/\text{s}$
- Smart Spitzenabfluss  $Q_p = 137,57 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rüdisser Spitzenabfluss  $Q_p = 506,12 \text{ m}^3/\text{s}$
- HQ5000 Spitzenabfluss  $Q_p = 573,65 \text{ m}^3/\text{s}$

Neben den Parametern der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit, welche direkt aus den simulierten Flutwellen abgeleitet werden können, ist auch noch die Wasseranstiegsrate ein wichtiger Parameter der Methode. Da aus den vorhandenen Daten die Wasseranstiegsrate nicht direkt abgelesen werden kann, wird dies, wie von Jonkman<sup>290</sup> beschrieben, indirekt über die Darstellung der Wassertiefe über die Zeit vorgenommen. Diese Berechnung kann für 5 Pegelpunkte durchgeführt werden. Die Stationierung der Pegelpunkte ist in Tabelle 4.3.9 angegeben. Die Ergebnisse der Berechnung der Wasseranstiegsraten sind in Tabelle 4.3.10 dargestellt.

**Tabelle 4.3.9: Positionierung der Pegelpunkte<sup>291</sup>**

Pegelpunkt	Stationierung	Bezeichnung
PP1	km 22,000	Tauchen
PP2	km 15,800	Bergwerk
PP3	km 11,000	Stadtschlaining
PP4	km 9,500	Altschlaining
PP5	km 6,400	Neumarkt

<sup>290</sup> Jonkman S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, Technische Universiteit Delft

<sup>291</sup> Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien

Tabelle 4.3.10: Berechnete Wasseranstiegsraten

Pegelpunkt	Flutwelle	Zeit	Wassertiefe	Wasseranstieg
		[min]	[m]	[m/h]
PP1	SmartU	44,9	1,5	2,0
	Smart	55,7	1,5	1,6
	Rüdisser	40,0	1,5	2,3
	HQ5000	39,0	1,5	2,3
PP2	SmartU	56,5	1,2	1,2
	Smart	69,6	0,9	0,8
	Rüdisser	42,9	1,0	1,4
	HQ5000	34,3	0,9	1,6
PP3	SmartU	49,5	0,7	0,8
	Smart	68,9	0,6	0,5
	Rüdisser	37,5	0,6	0,9
	HQ5000	16,9	0,7	2,5
PP4	SmartU	56,7	0,8	0,8
	Smart	71,5	0,5	0,4
	Rüdisser	46,0	0,7	0,9
	HQ5000	24,7	0,9	2,2
PP5	SmartU	67,6	0,2	0,2
	Smart	65,8	0,0	0,0
	Rüdisser	55,9	0,2	0,2
	HQ5000	32,2	0,3	0,6

In Tabelle 4.3.10 ist zu erkennen, dass die Wasseranstiegsrate nur in Neumarkt einen Wert von 0,5 m/h zur Gänze unterschreitet. Lediglich in Altschlaining wird dieser Grenzwert bei der Flutwelle „Smart“ ebenfalls unterschritten.

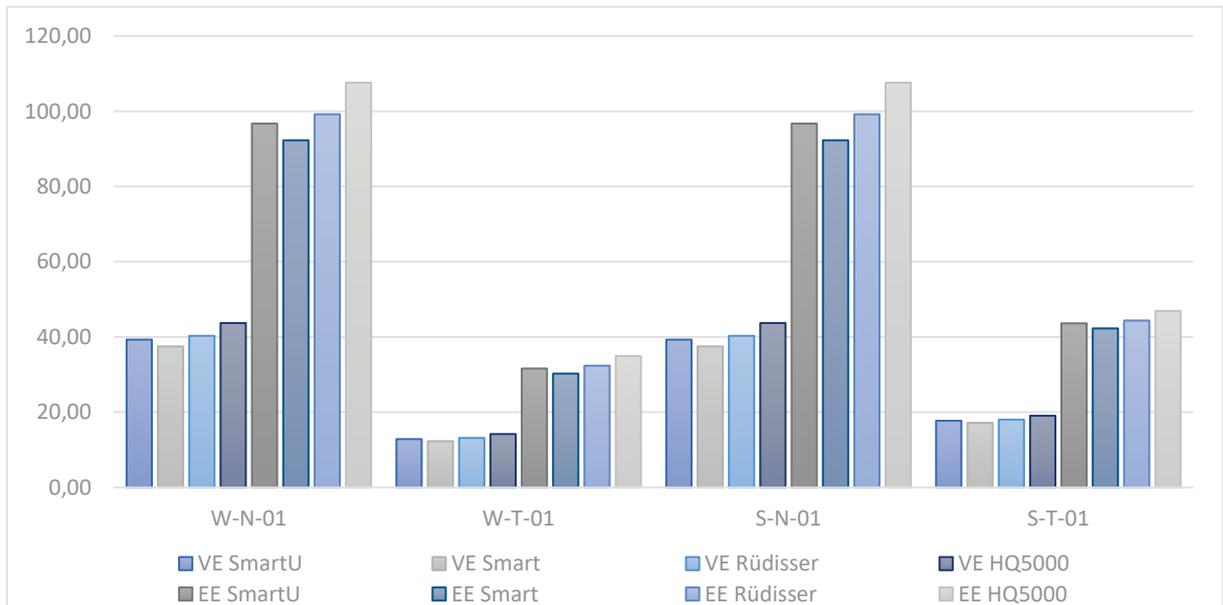
#### **SCHRITT 2: ANZAHL DER PERSONEN, DIE DER FLUT AUSGESETZT SIND**

Die Anzahl der Personen im Überflutungsgebiet können aus den Berechnung nach Graham (siehe Kapitel 4.3.4 Schritt 5) entnommen werden. Der Unterschied ist allerdings, dass bei dieser Methode die Anzahl der Personen im Überflutungsgebiet durch Effekte wie Evakuierung abgemindert wird.

Die Berechnung der Evakuierung wird dabei analog zu der Berechnung der Stauanlage Kartell durchgeführt (siehe Kapitel 4.2.5 Schritt 2). Das Ergebnis der Berechnung ist in Tabelle 4.3.11 und Diagramm 4.57 dargestellt. VE beschreibt dabei die vorbeugende Evakuierung und EE die erzwungene Evakuierung der Personen im Gefahrengebiet (PAR).

**Tabelle 4.3.11: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle**

		Winter		Sommer	
		Nacht	Tag	Nacht	Tag
		W-N-01	W-T-01	S-N-01	S-T-01
Evakuierung	Flutwelle	EXP			
VE	SmartU	39,29	12,85	39,29	17,72
	Smart	37,49	12,30	37,49	17,17
	Rüdisser	40,30	13,15	40,30	18,03
	HQ5000	43,71	14,19	43,71	19,06
EE	SmartU	96,73	31,62	96,73	43,62
	Smart	92,28	30,27	92,28	42,27
	Rüdisser	99,19	32,37	99,19	44,37
	HQ5000	107,58	34,92	107,58	46,92



**Diagramm 4.57: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle**

**SCHRITT 3: BERECHNUNG DER OPFERRATE**

**ZONENEINTEILUNG**

Um die Opferrate abschätzen zu können wird zunächst das untersuchte Gebiet in unterschiedliche Zonen eingeteilt (siehe Kapitel 3.3.3). Dies erfolgt durch die drei Parameter Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Wasseranstiegsrate.

**OPFERRATE**

Für die zuvor angeführten Parameter kann nun die Opferrate ermittelt werden. Die Opferrate selbst wird dabei für jedes aufgenommene Gebäude einzeln definiert und so die Opferzahl in jedem Gebäude ermittelt. Die Opferrate wird dabei für jede Zeitkategorie, Evakuierungssituation (vorhergesehen / unvorhergesehen) und nach den 3 unterschiedlichen Gleichungen nach Jonkman (Unveränderter Ansatz / Ansatz zur Berücksichtigung besserer Gebäude / Ansatz aus dem Fallbeispiel New Orleans) ermittelt.

**ANZAHL DER OPFER (LOL)**

Nach der Auswertung der Opfer in jedem Gebäude, kann nun die gesamte Opferzahl ermittelt werden. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen, gegliedert für jede Zeitkategorie dargestellt.

**WINTER**

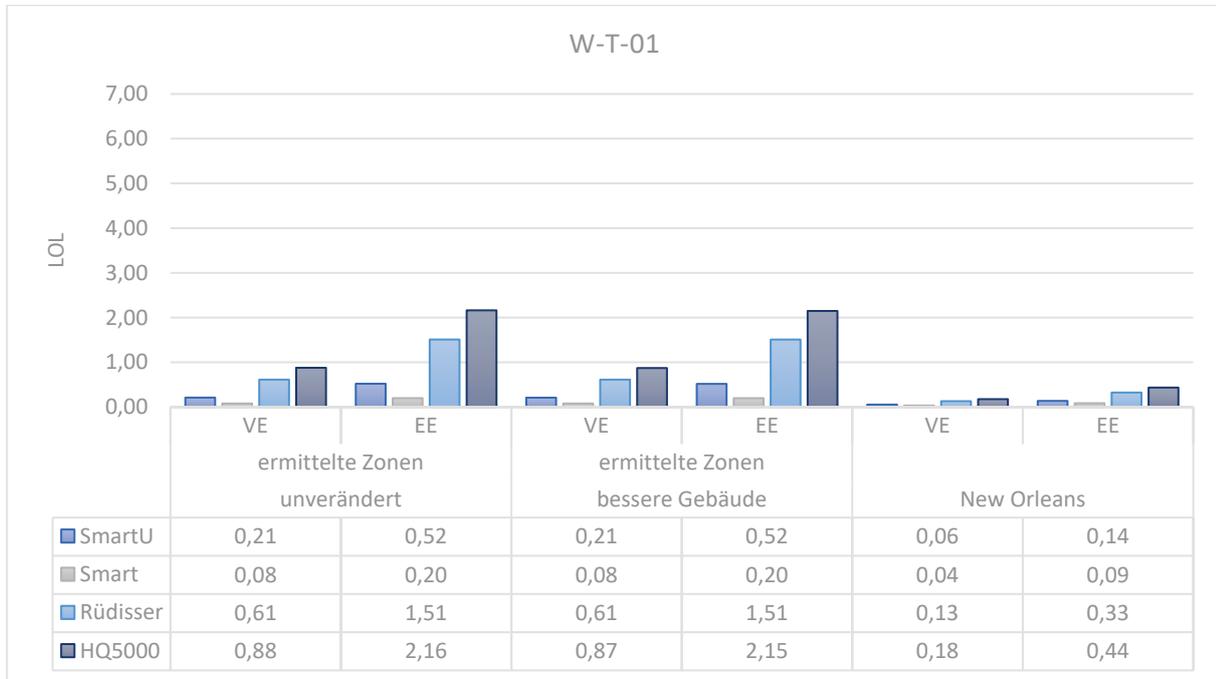


Diagramm 4.58: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Winter nach Jonkman

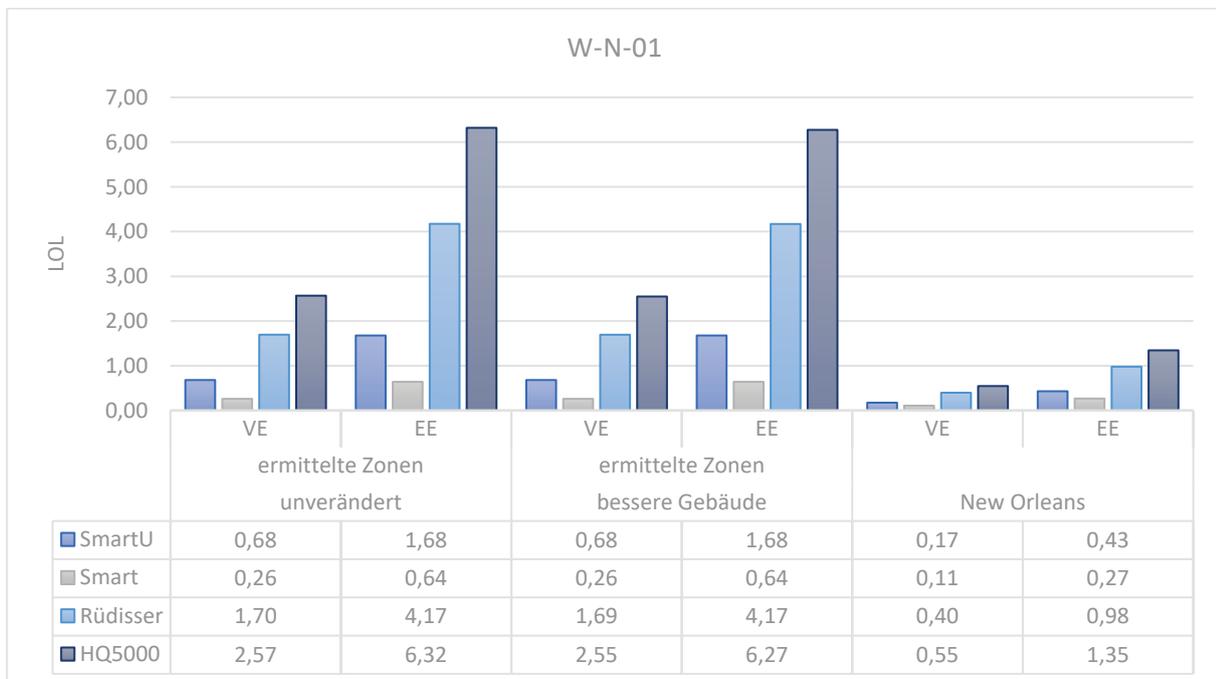
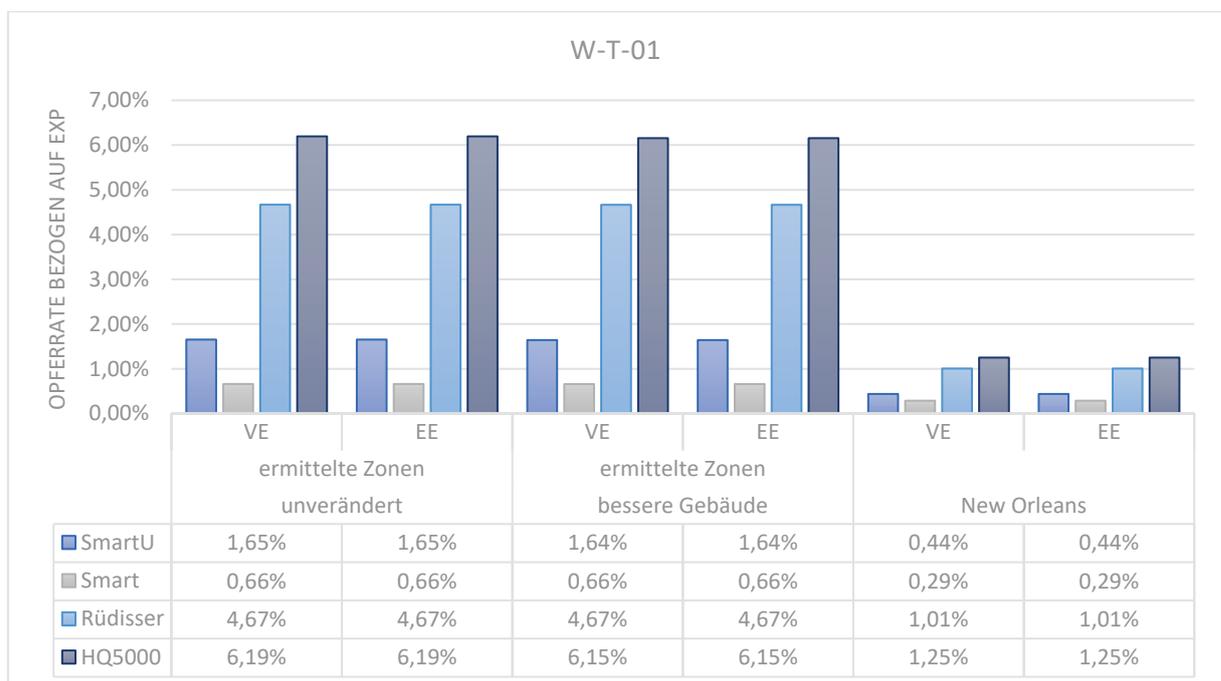


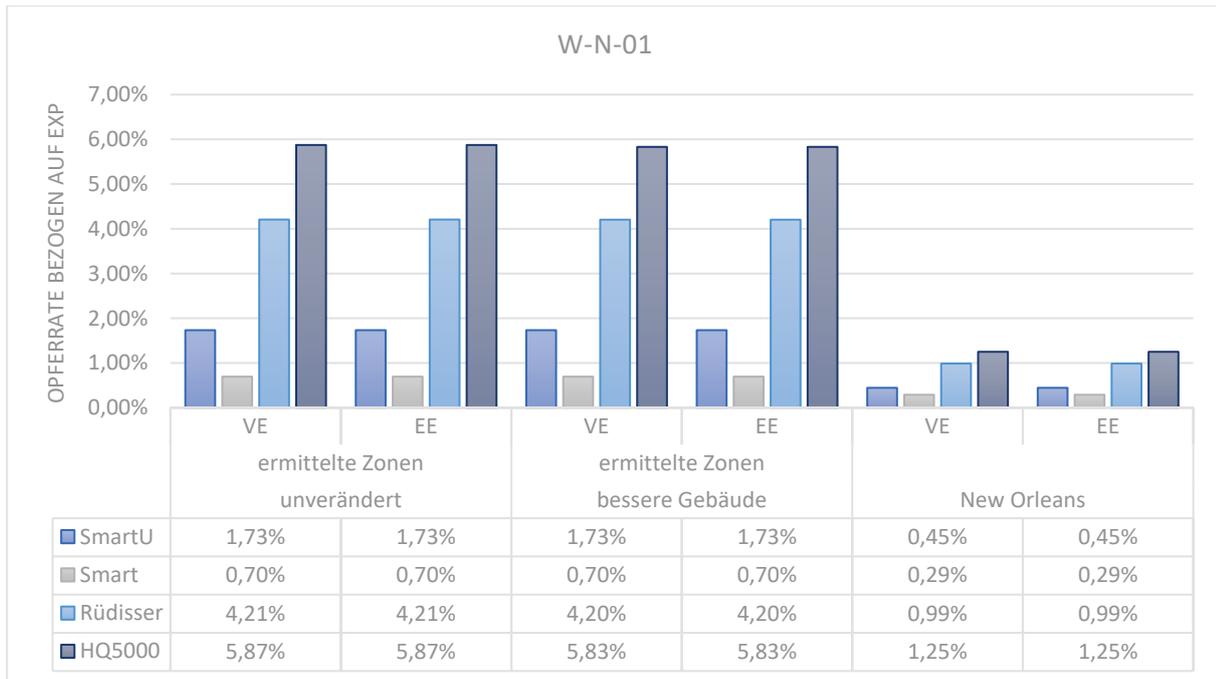
Diagramm 4.59: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Jonkman

Die dargestellten Opferzahlen in Diagramm 4.58 und Diagramm 4.59 fallen eher gering aus. Am Tag liegt die maximale Anzahl an Opfern bei rund 2 und in der Nacht bei rund 6. Diese

Werte sind deutlich geringer als jene aus der Berechnung nach Graham, bei der die maximale Opferzahl am Tag bei rund 7 und in der Nacht bei rund 20 liegt (siehe Diagramm 4.49 und Diagramm 4.50). Diese Unterschiede können darauf zurückgeführt werden, dass die Methode nach Jonkman die Fließgeschwindigkeit stärker gewichtet als jene von Graham. Dies ist insbesondere bei der Zoneneinteilung nach Jonkman zu erkennen. Alle simulierten Flutwellen weisen geringe Fließgeschwindigkeiten auf, weshalb bei der Zoneneinteilung nach Jonkman, nahezu alle Gebäude in die übrige Zone, bei der mit sehr geringen Opferraten zu rechnen ist, fallen. Es zeigt sich ein anderes Bild als bei der Berechnung nach Jonkman beim Fallbeispiel Kartell (siehe Kapitel 4.2.5), bei der aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten große Gebiete der Bruchzone zugeordnet werden und daher die Opferzahlen sehr hoch ausfallen.

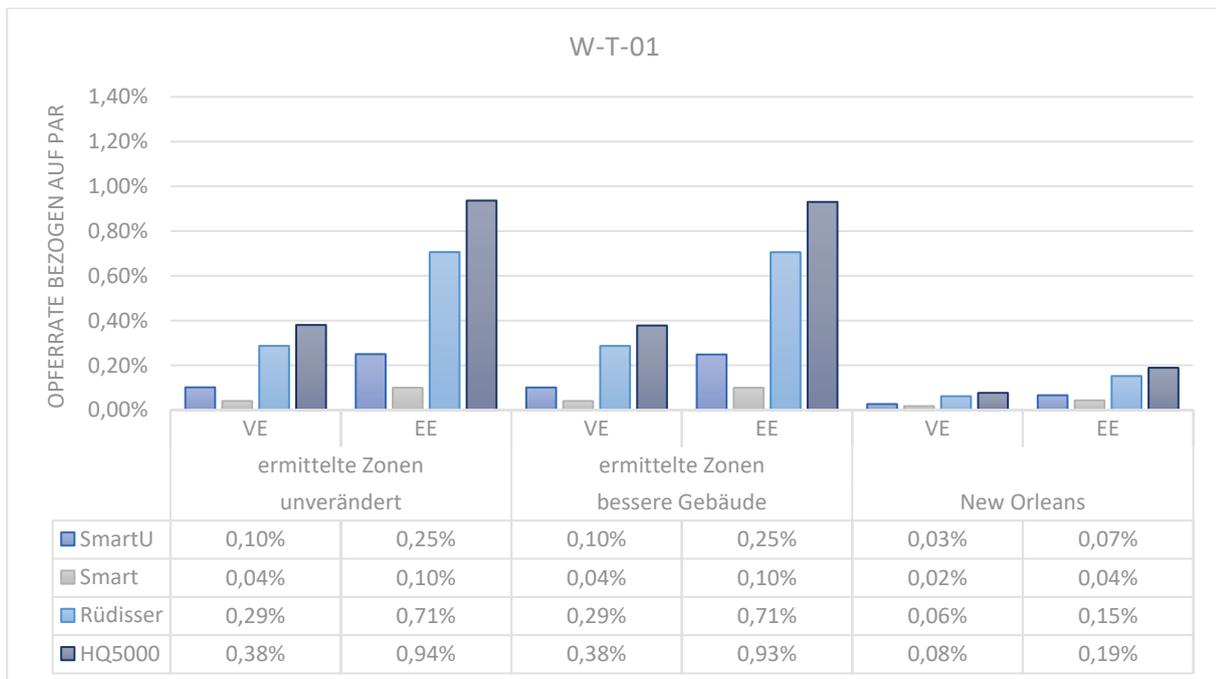


**Diagramm 4.60: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) am Tag im Winter nach Jonkman**

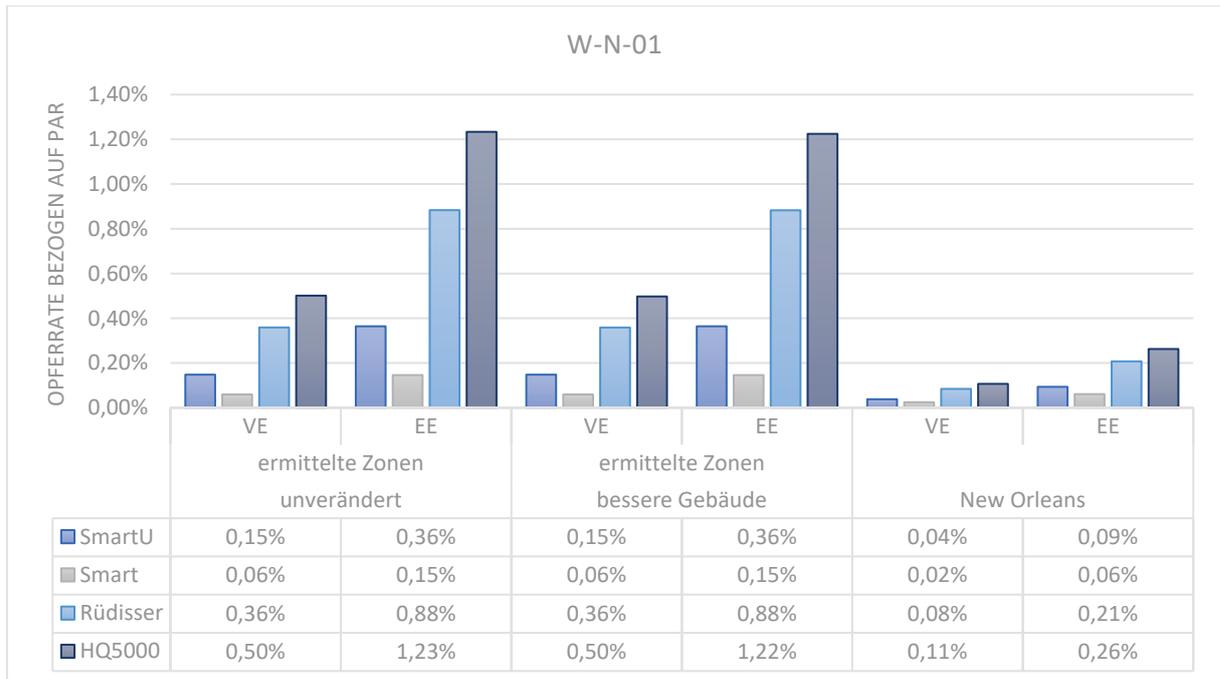


**Diagramm 4.61: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (EXP) in der Nacht im Winter nach Jonkman**

Werden die Opferraten bezogen auf die Personen die im Gefahrengebiet verbleiben (EXP) betrachtet (siehe Diagramm 4.60 und Diagramm 4.61), ist zu erkennen, dass diese um etwa den Faktor 10 geringer sind als bei der Berechnung der Stauanlage Kartell (siehe Kapitel 4.2.5). Dies ist wiederum auf die Zoneneinteilung zurückzuführen, bei der das gesamte Gebiet der übrigen Zone zugeteilt wird.



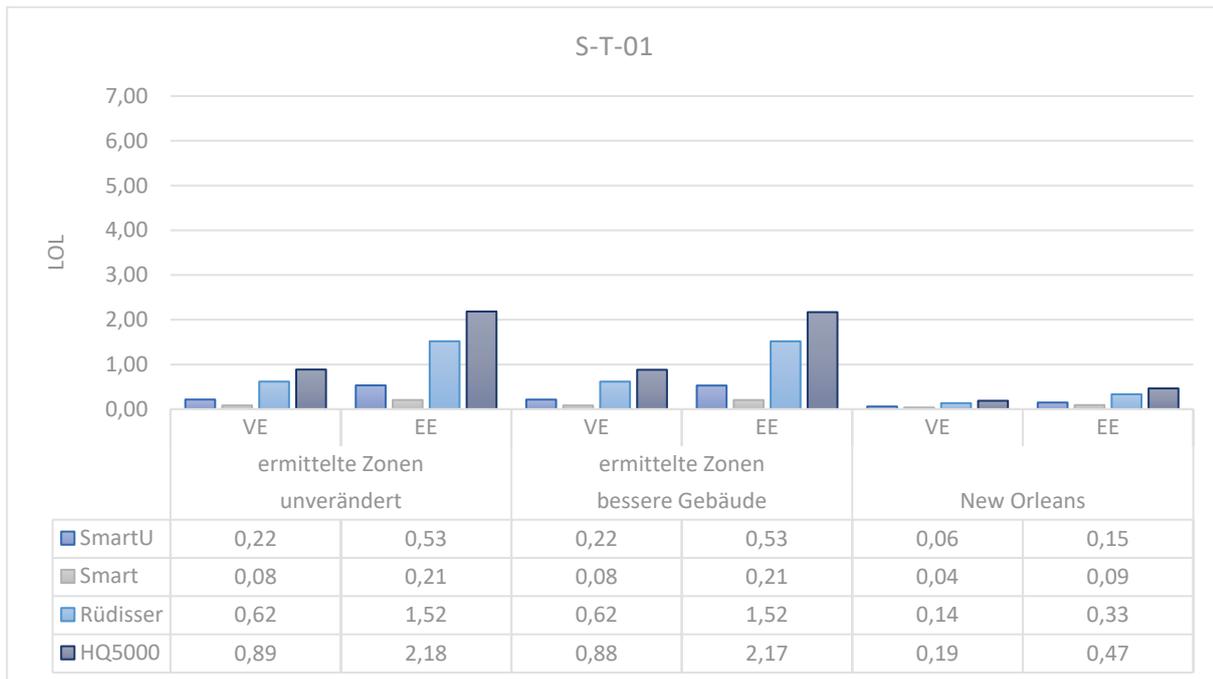
**Diagramm 4.62: Ermittelte Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (PAR) am Tag im Winter nach Jonkman**



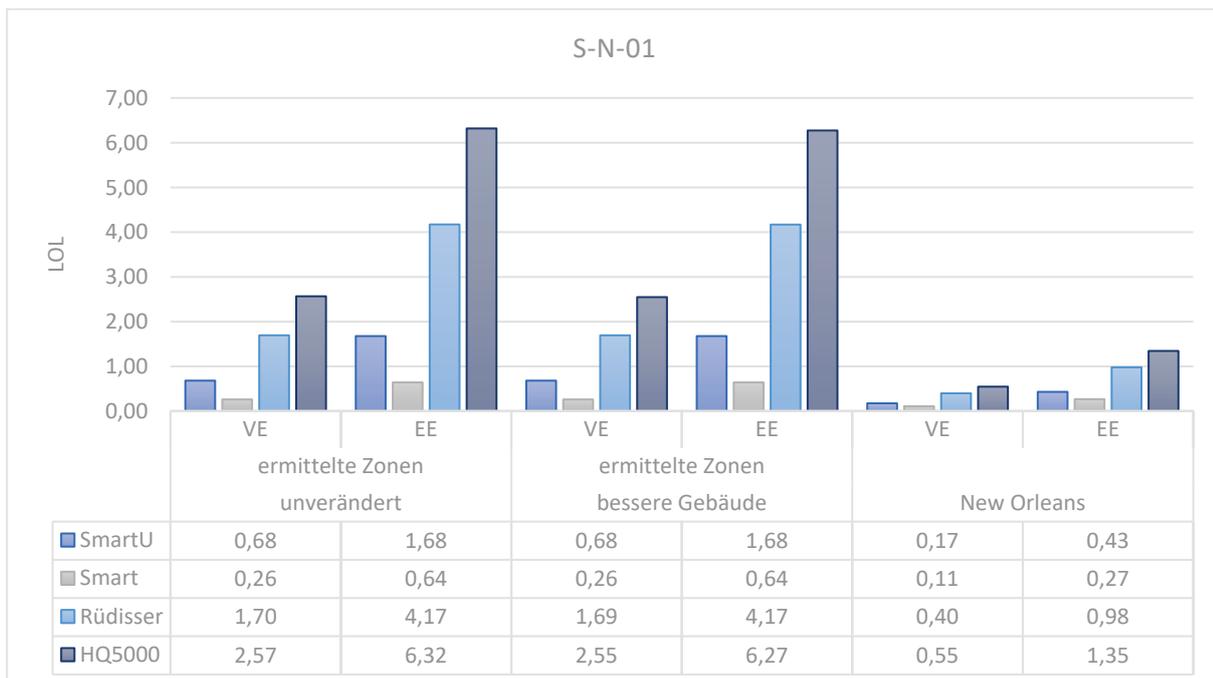
**Diagramm 4.63: Ermittelte Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (PAR) in der Nacht im Winter nach Jonkman**

Bei der Betrachtung von Diagramm 4.62 und Diagramm 4.63 ist zu erkennen, dass die Opferraten im Allgemeinen nur knapp über 0 % und im schlimmsten Fall bei 1,23 % liegen. Dies liegt wiederum daran, dass das gesamte Gebiet der Zone mit den geringsten Opferraten zugeordnet wurde. In dieser Zone ist nach Gleichung 3-61 bei einer Wassertiefe von 5 m mit einer Opferrate von 0,015 bezogen auf die Personen, welche im Gefahrengebiet zurückbleiben (EXP) zu rechnen (siehe auch Diagramm 3.17). Die maximale Wassertiefe bei einem Gebäude in diesem Fallbeispiel liegt bei 3,3 m und der Mittelwert bei 1,1 m. Es ist also gut nachzuvollziehen, weshalb die Opferraten nach Jonkman sehr gering ausfallen.

**SOMMER**



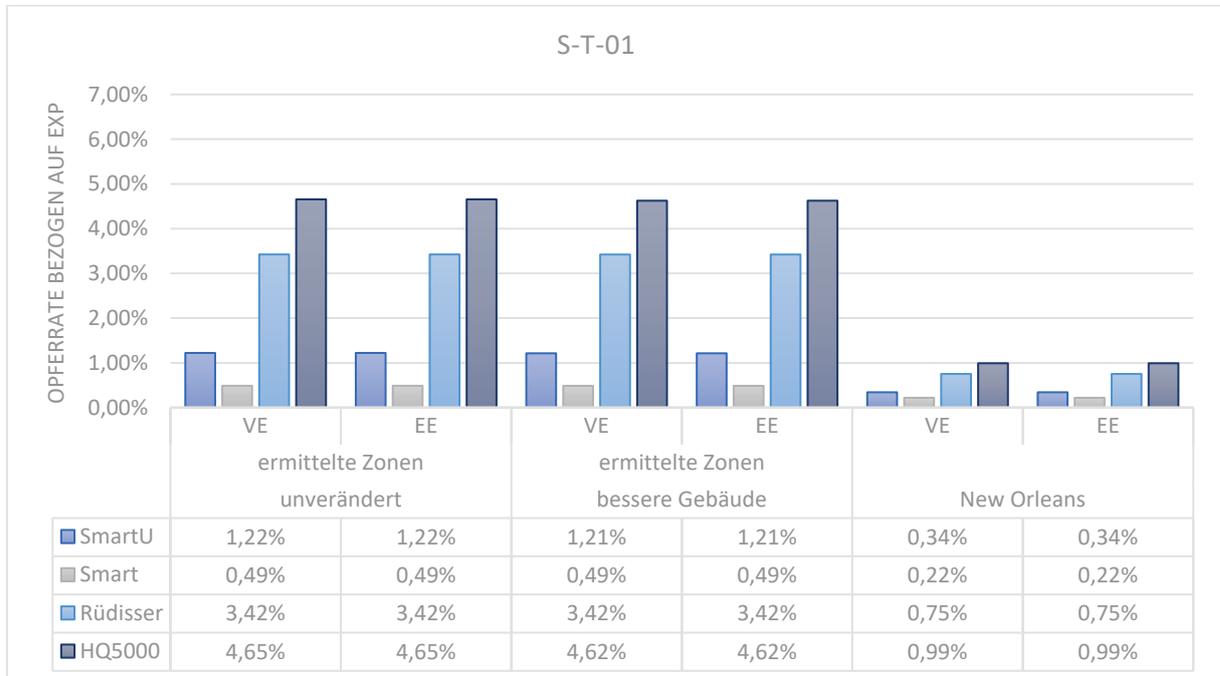
**Diagramm 4.64: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Sommer nach Jonkman**



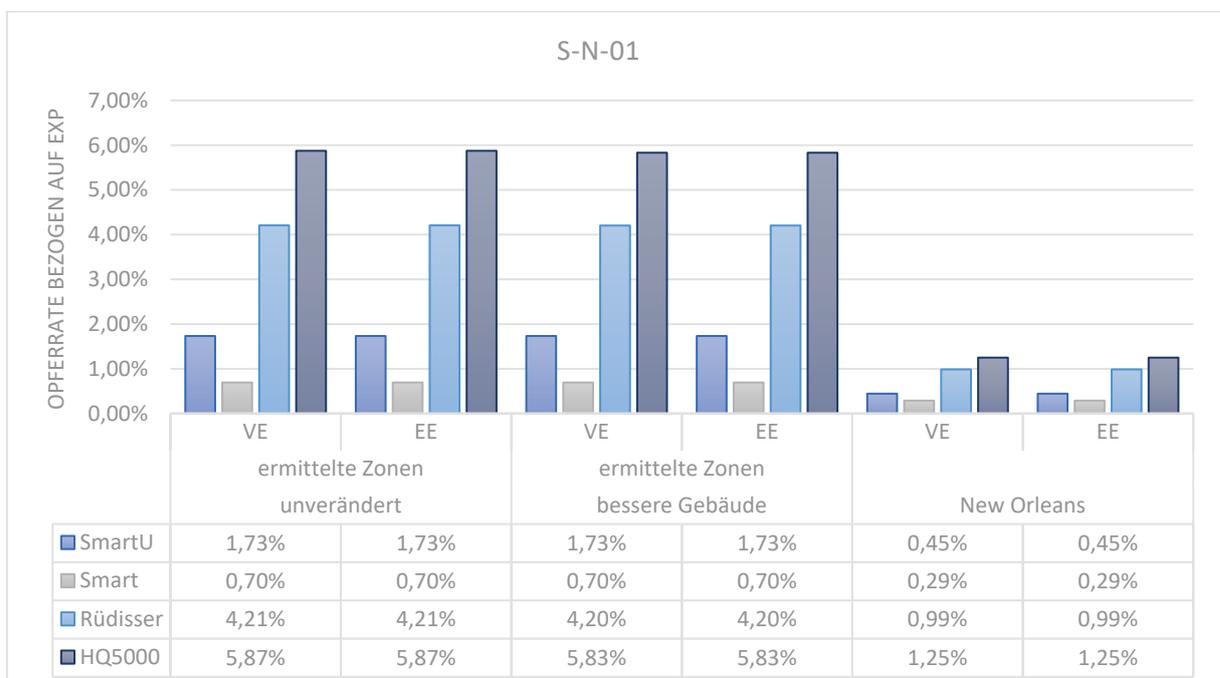
**Diagramm 4.65: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Sommer nach Jonkman**

Werden die Opferzahlen im Sommer (siehe Diagramm 4.64 und Diagramm 4.65) mit jenen aus dem Winter (siehe Diagramm 4.58 und Diagramm 4.59) verglichen, sind, wie schon bei den Ergebnissen nach Graham, kaum Unterschiede zu erkennen. Lediglich am Tag sind Unterschiede in der zweiten Nachkommastelle, was unter Berücksichtigung der allgemeinen Ungenauigkeiten der Methode vernachlässigbar ist, festzustellen. Die Tatsache, dass kaum Unterschiede vorhanden sind ist darin begründet, dass das Untersuchungsgebiet kaum Arbeits- oder Freizeitstätten sowie Tourismus aufweist. Dadurch sind keine Schwankungen

der Personen im Gefahrengebiet (*PAR*) zu erwarten und folglich auch keine Unterschiede zwischen Winter und Sommer. Der geringe Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass im Sommer ein Fußballplatz mitberücksichtigt ist und deshalb auch die Personen im Gefahrengebiet (*PAR*) etwas mehr sind.



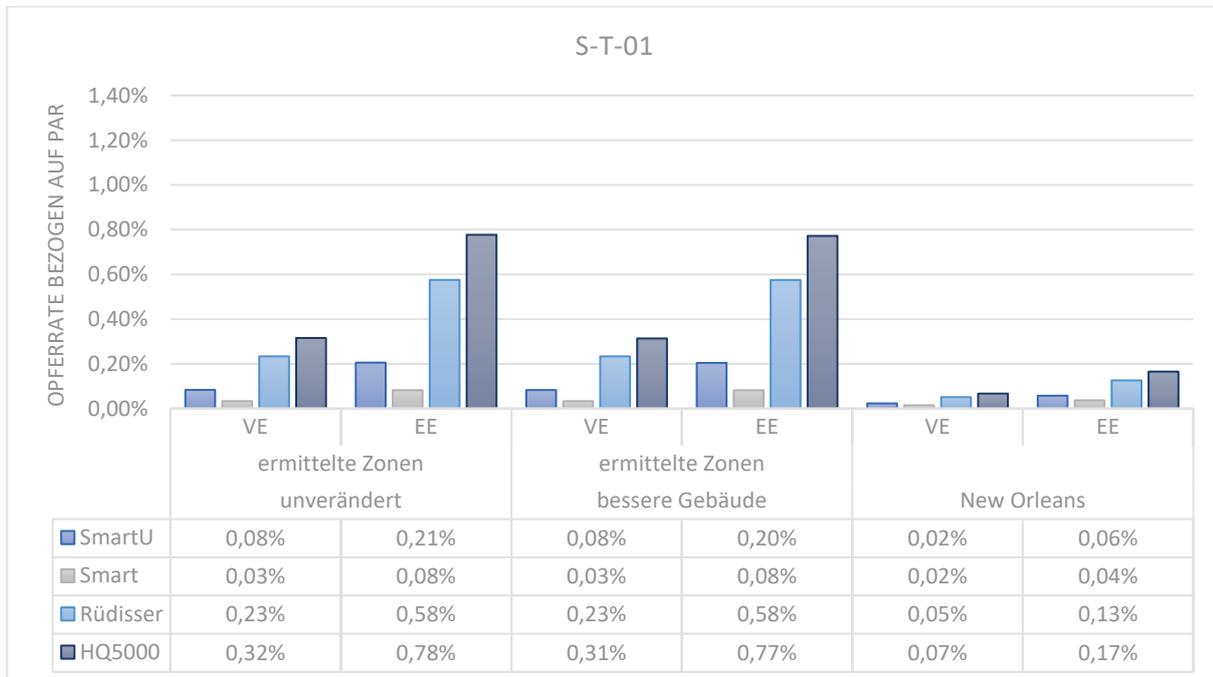
**Diagramm 4.66: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (*EXP*) am Tag im Sommer nach Jonkman**



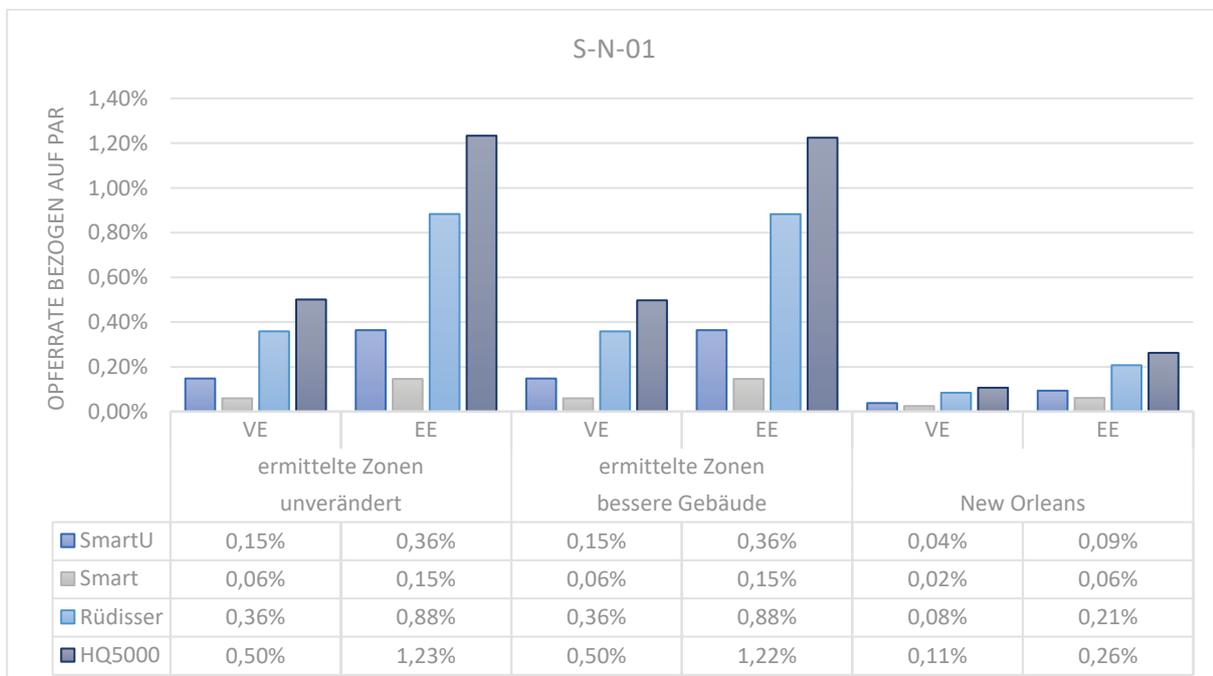
**Diagramm 4.67: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (*EXP*) in der Nacht im Sommer nach Jonkman**

Bei der Betrachtung der Opferraten bezogen auf die Personen, welche der Flut tatsächlich ausgesetzt sind (*EXP*) (siehe Diagramm 4.66 und Diagramm 4.67), ist zu erkennen, dass die Opferraten in der Nacht etwas höher sind. Verglichen mit jenen Opferraten vom Winter (siehe

Diagramm 4.60 und Diagramm 4.61) ist festzustellen, dass die Opferraten am Tag im Sommer geringer sind als im Winter. Dies ist wiederum auf den berücksichtigten Fußballplatz zurückzuführen. In der Nacht weisen die Ergebnisse für Sommer und Winter keine Unterschiede auf.



**Diagramm 4.68: Ermittelte Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengbiet (PAR) am Tag im Sommer nach Jonkman**



**Diagramm 4.69: Ermittelte Opferraten in der Nacht bezogen auf die Personen im Gefahrengbiet (PAR) im Sommer nach Jonkman**

Diagramm 4.68 und Diagramm 4.69 zeigen die Opferraten bezogen auf jene Personen die sich zum Zeitpunkt des Sperrenversagens im Gefahrengbiet befinden (PAR). Wie schon im Winter (siehe Diagramm 4.62 und Diagramm 4.63) ist auch hier zu erkennen, dass die

Opferraten nur knapp über 0 % liegen. Wobei wiederum die Opferraten am Tag im Sommer etwas geringer sind als im Winter, was wie schon erwähnt am berücksichtigten Fußballplatz liegt.

#### **4.3.5.2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON JONKMAN**

Wie schon bei den Ergebnissen von Graham (siehe Kapitel 4.3.4.2) sind auch bei der Berechnung der Opferzahlen nach Jonkman die Ergebnisse sehr konsistent. Bei Betrachtung aller Parameter weisen die unterschiedlichen Flutwellenszenarien immer die gleichen Verläufe auf ( $HQ5000 > Rüdissler > SmartU > Smart$ ). Dies ist durch die geringen Unterschiede in der Zoneneinteilung der einzelnen Flutwellensimulationen zu erklären. Der wesentliche Unterschied in den Opferzahlen ist auf die unterschiedliche Größe der Überflutungsgebiete und nicht auf die Stärke der Flutwellen zurückzuführen.

Weiters zeigen die Ergebnisse, dass in der Nacht mit mehr Opfern zu rechnen ist als am Tag. Dies ist durch die Tatsache erklärbar, dass die Anzahl der Personen im Gefahrengebiet ( $PAR$ ) in der Nacht größer ist als am Tag.

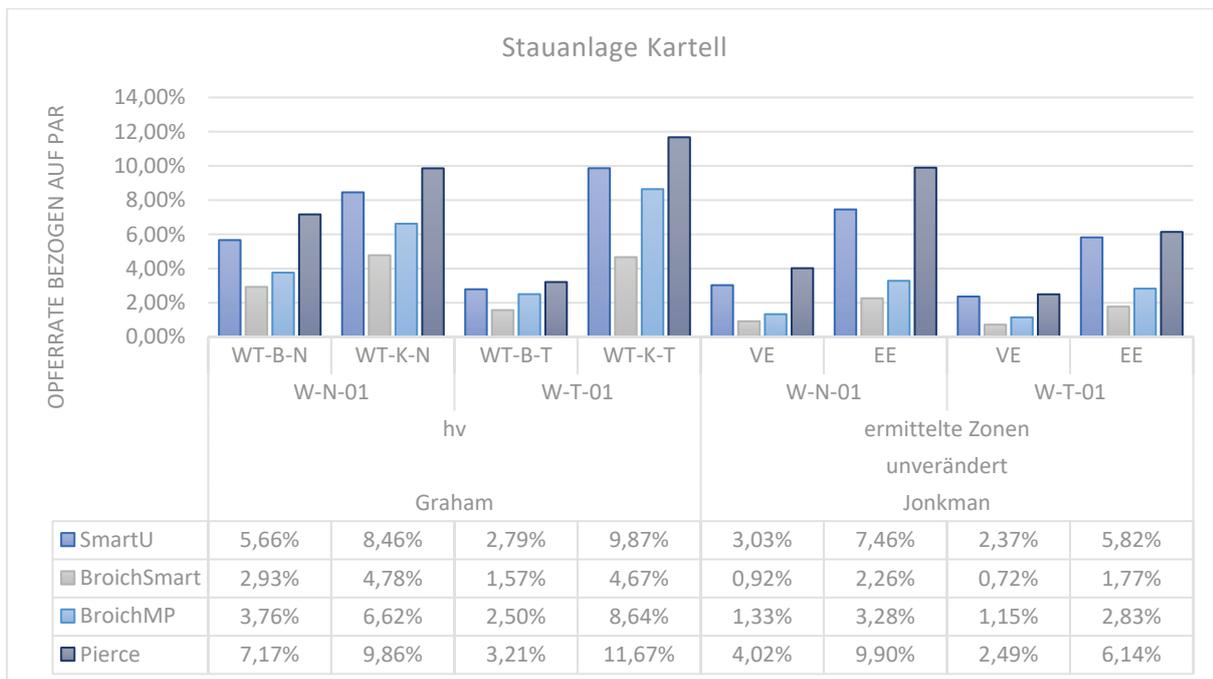
Die Opferraten bezogen auf jene Personen, welche nicht rechtzeitig das Gebiet verlassen können ( $EXP$ ) zeigen, dass die verwendeten Gleichungen nach Jonkman unabhängig vom Evakuierungsszenario sind.

## 4.4 VERGLEICH DER METHODEN

Im folgenden Kapitel werden die Methoden nach Graham und Jonkman hinsichtlich ihrer Ergebnisse sowie ihrer Einflussgrößen miteinander verglichen.

### 4.4.1 OPFERRATEN

Für den Vergleich der Opferraten werden jeweils die Worst-Case-Szenarios der Fallbeispiele herangezogen. Dabei handelt es sich um die Zeitkategorien im Winter in der Nacht („W-N-01“) und am Tag („W-T-01“). Die Opferraten sind in Diagramm 4.70 und Diagramm 4.71 dargestellt.



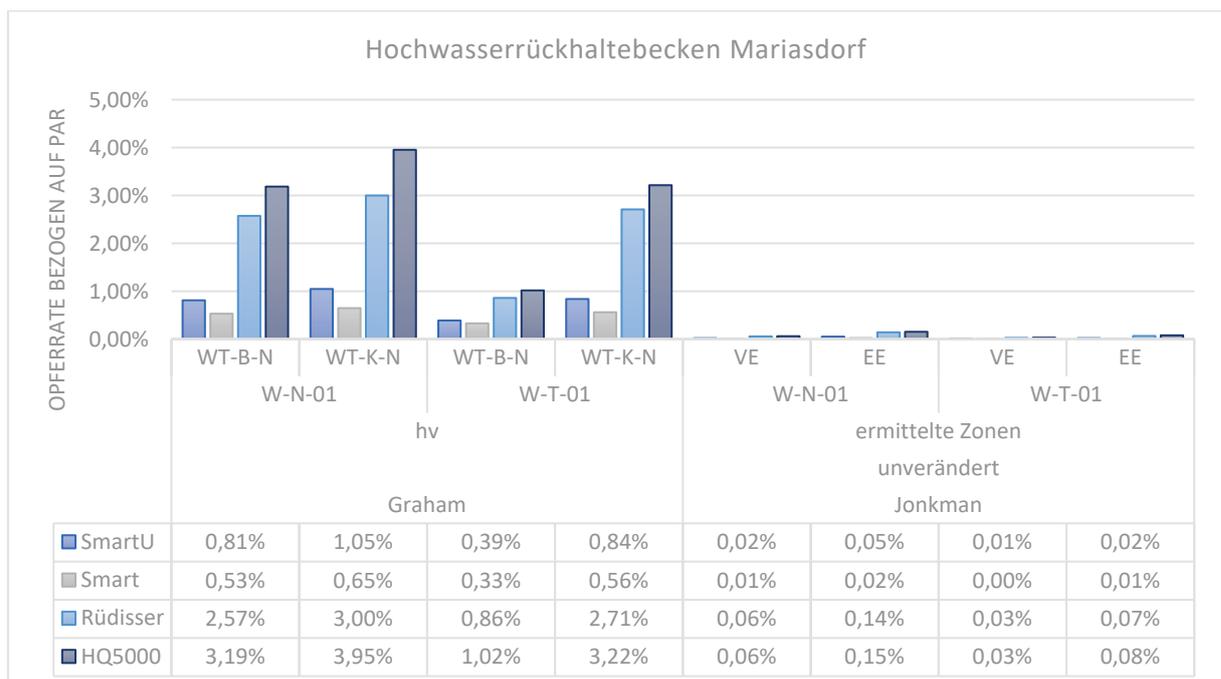
**Diagramm 4.70: Gegenüberstellung der Opferraten nach Graham und Jonkman beim Fallbeispiel Kartell**

In Diagramm 4.70 sind die Ergebnisse des Fallbeispiels der Stauanlage Kartell dargestellt. Es werden jeweils die Berechnungen mit den höchsten Opferraten der beiden Methoden herangezogen, wobei bei der Methode nach Graham jene Berechnung mit dem Parameter *hv* herangezogen wird, um eine bessere Vergleichbarkeit der Methoden zu erzielen.

Wird nun angenommen, dass die jeweiligen Kategorien der Evakuierung (Jonkman – „VE“ und „EE“) bzw. der Beobachter bei der Stauanlage (Graham – „WT-B-N“ und „WT-K-N“) vergleichbar sind, diese Kategorien also jeweils für effiziente und ineffiziente Warnungen stehen, ist zu erkennen, dass effiziente Warnungen bei Jonkman („VE“) einen größeren Effekt auf die Opferrate haben als beim Ansatz nach Graham („WT-B-N“). Dies ist dadurch erklärbar, dass die Methode nach Jonkman den Einfluss von Evakuierungen genauer behandelt. Es ist hier allerdings auch anzumerken, dass Graham in dieser Kategorie zwischen Tag und Nacht unterscheidet wohingegen nach Jonkman keine derartige Einteilung getroffen wird. Aus diesem Grund liegen die Opferraten am Tag bei effizienter Warnung enger zusammen als in der Nacht.

Weiters ist zu erkennen, dass bei ineffizienten Warnungen („WT-K-N“ und „EE“) die ermittelten Opferraten der Flutwelle „Pierce“ in allen Fällen etwa bei 10 % liegen. Auch bei der Flutwelle „SmartU“ liegen die Ergebnisse eng zusammen. Bei den Flutwellen mit geringerem Spitzenabfluss („BroichSmart“ und „BroichMP“) sind die Ergebnisse nach Graham etwa um den Faktor 2 größer als jene nach Jonkman. Dies kann dadurch erklärt werden, dass bei der Methode nach Jonkman die vorhandenen Fließgeschwindigkeiten einen stärkeren Einfluss auf die Opferraten haben. Das heißt, dass bei geringeren Fließgeschwindigkeiten die Opferraten geringer ausfallen als bei der Methode nach Graham.

Bei weiterer Betrachtung von Diagramm 4.70 ist zu erkennen, dass nach Graham am Tag und ineffizienter Warnung eine größere Opferrate ermittelt wird als in der Nacht. Bei der Methode nach Jonkman zeigt sich ein anderes Bild. Eine Erklärung dafür ist, dass Jonkman den Evakuierungsprozess mitberücksichtigt. Das heißt, dass nach Jonkman auch bei ineffizienten Warnungen ein gewisser Anteil an Personen das Gebiet rechtzeitig verlässt, wohingegen nach Graham die Vorwarnung entweder rechtzeitig oder gar nicht erfolgt und dementsprechend unterschiedliche Opferraten angesetzt werden (siehe Tabelle 3.2.9).



**Diagramm 4.71: Gegenüberstellung der Opferraten nach Graham und Jonkman beim Fallbeispiel Mariasdorf**

Wird das Fallbeispiel Mariasdorf herangezogen (siehe Diagramm 4.71) ist zu erkennen, dass die Opferraten nach Graham um ein Vielfaches größer sind als jene nach Jonkman. Diese Tatsache verstärkt die Annahme, dass die Methode nach Jonkman sensibler auf Veränderungen der Fließgeschwindigkeiten reagiert. Im Fallbeispiel Kartell herrschen beträchtlich höhere Strömungsgeschwindigkeiten, was zu einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse führt. In diesem Fallbeispiel liegen nur sehr geringe Fließgeschwindigkeiten vor und die Opferzahlen nach Jonkman liegen nur knapp über 0 %.

#### 4.4.2 ANWENDUNG DER METHODEN

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Methode nach Jonkman aufwendiger zu modellieren ist als jene nach Graham. Dies liegt daran, dass nach Jonkman mehr Variablen (Evakuierung, Unterschlupf, Rettung) zu berücksichtigen sind. Diese Variablen ermöglichen es allerdings auch spezieller auf das untersuchte Gebiet einzugehen. Im Fall der Evakuierung kann etwa jene Zeit, die benötigt wird um das Gebiet zu verlassen, direkt aus dem Weg, der zurückgelegt werden muss, ermittelt werden. Außerdem können bei dieser Methode weitere Maßnahmen berücksichtigt werden, welche die benötigte Zeit positiv beeinflussen.

Des Weiteren wird bei der Methode nach Jonkman der Parameter  $hv$  verwendet. Dabei handelt es sich um einen Punktwert, welcher für jedes Gebäude ermittelt werden muss. Bei der Verwendung dieses Werts ergeben sich einige Probleme, welche das Ergebnis stark beeinflussen können. Im Speziellen bei der Anwendung am Fallbeispiel Kartell ist es aufgrund der steilen Berghänge der Fall, dass entlang des Grundrisses eines Gebäudes mehrere Werte abgelesen werden können. Dabei kann je nach gewähltem Punkt eine oft unterschiedliche Wassertiefe abgelesen werden. Ähnliches kann auch beim Ablesen der Fließgeschwindigkeit beobachtet werden. In der vorliegenden Arbeit wird deshalb versucht immer Maximalwerte der Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit zu verwenden. Im Fallbeispiel Mariasdorf hingegen liegt ein flacheres Gebiet vor, weshalb der Parameter  $hv$  entlang eines Gebäudes geringere Schwankungen aufweist.

Ähnliches wie für den Parameter  $hv$  gilt auch für den Parameter  $h$ . Auch dabei handelt es sich um einen Punktwert. Die Schwere der Flut kann bei ausschließlicher Verwendung dieses Parameters deutlich unterschätzt werden.

Der Parameter  $DV$  ist im Vergleich zu den anderen Parametern am schnellsten zu ermitteln, da lediglich die Breite des Überflutungsgebiets und der Spitzenabfluss notwendig sind. Dadurch lässt sich indirekt auch die Fließgeschwindigkeit im Gebiet berücksichtigen. Der große Vorteil des Parameters  $DV$  liegt sicherlich in der schnellen Ermittlung und der Berücksichtigung von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit im Gebiet ohne diese direkt messen zu müssen. Daraus ergibt sich allerdings auch der Nachteil, dass Punktuelle Spitzenwerte nicht erfasst werden. Die Werte der Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe werden dadurch über das gesamte Gebiet „verschmiert“. Diese Tatsache kann das Ergebnis der Opferzahlen vergrößern, wenn Spitzenwerte in Bereichen vorliegen in denen keine Gebäude vorliegen, und andererseits verkleinern, wenn in Bereichen ohne Gebäude sehr geringe Werte der Flutwelle vorliegen.

## 4.5 FAZIT

Bei der Anwendung von Ansätzen zur Ermittlung von Opferzahlen sollte immer auf die Schwankungen der Personen im untersuchten Gebiet eingegangen werden. Dieser Umstand ist im Speziellen am Fallbeispiel Kartell (siehe Kapitel 4.2) zu erkennen. In diesem Fallbeispiel spielt der Tourismus eine maßgebliche Rolle in der Ermittlung der potentiellen Todesopfer.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass mehrere Flutwellenansätze in Betracht gezogen werden sollten. In den vorliegenden Fallbeispielen (siehe Kapitel 4.2 und 4.3) liefern die unterschiedlichen Flutwellensimulationen Ergebnisse, welche sich deutlich unterscheiden. Da bereits die Simulation der Flutwellen einen großen Unsicherheitsfaktor mit sich bringt, kann durch die Verwendung mehrerer Flutwellensimulationen eine Bandbreite der Opferzahlen angegeben werden.

Es ist auch ersichtlich, dass selbst bei einem sehr kleinen Stauvolumen, wie es beim Hochwasserrückhaltebecken Mariasdorf der Fall ist ( $2,5 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ ), nicht automatisch angenommen werden darf, dass im Versagensfall keine Todesopfer zu erwarten sind. Die Berechnungen zeigen, dass aufgrund der Lage (sehr knapp bei Siedlungen) durchaus mit Opfern zu rechnen ist. Eine Opferzahl zwischen 0 und 5 erscheint durchaus plausibel.

Weiters kann auch erwähnt werden, dass eine Opferzahlenermittlung mit zwei unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden sollte. Dadurch können die Bandbreiten der Opferzahlen besser abgeschätzt werden und die unterschiedlichen Ergebnisse auf ihre Plausibilität überprüft werden.

Abschließend bleibt noch zu sagen, dass diese Methoden keineswegs als exakte Berechnungen betrachtet werden können. Sie dienen in erster Linie dazu, gewisse Größenordnungen der potentiellen Opferzahlen abschätzen zu können und daraufhin Stauanlagen mit hohem Gefährdungspotential zu identifizieren.



## A LITERATURVERZEICHNIS

### A1 BÜCHER UND ARTIKEL

Aboelata, M. A.; Bowles, D. S. (2008): LIFESim: A Tool for Estimating and Reducing Life-Loss Resulting from Dam and Levee Failures

Aboelata, M. A.; Bowles, D. S.; McClelland, D. M. (2003): A Model for Estimating Dam Failure Life Loss

Bibel, Buch des Johannes Kapitel 20 Vers 29

Bressan, D. (2011): JULY 19, 1985: The Val di Stava dam collapse, *Scientific American*,  
URL: <https://blogs.scientificamerican.com/history-of-geology/httpblogsscscientificamericancomhistory-of-geology20110719july-19-1985-the-val-di-stava-dam-collapse/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Brown, C. A.; Graham, W. J. (1988): Assessing the Threat to Life from Dam failure, *Journal Of The American Water Resources Association*, 24(6), 1303-1309.  
doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb03051.x

Catnach, R. B.; James, R. L.; O'Neill, A. L.; Von Thun, L. J. (1989): Investigation of the Cause of Quail Creek Dike Failure,  
URL: <http://www.damsafety.org/media/Documents/DownloadableDocuments/QuailCreekFailureRept.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993): Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood, *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K

DeKay, M. L.; McClelland, G. H. (1993): Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood. *Insurance: Mathematics And Economics*, 13(2), 165. doi:10.1016/0167-6687(93)90920-K

Duff, M. (2013): Italy Vajont anniversary: Night of the 'tsunami', *BBC News*,  
URL: <http://www.bbc.com/news/world-europe-24464867> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Energie und Wirtschaftsbetriebe der Gemeinde St. Anton GmbH: Wasserkraftwerk Kartell,  
URL: [http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw\\_kartell.pdf](http://www.ewa-services.at/fileadmin/broschueren/kw_kartell.pdf) - Broschüre (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Goldstein, L. (20.03.2011): ‚Safe‘ power an oxymoron, *Toronto Sun*,  
URL: [http://www.torontosun.com/comment/columnists/lorrie\\_goldstein/2011/03/18/17675461.html](http://www.torontosun.com/comment/columnists/lorrie_goldstein/2011/03/18/17675461.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

- Harrell, F. E. (2015): Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis, Second edition.; *Springer Series in Statistics*; Springer: Cham
- Jonkman, S. N.; Van Gelder; Vrijling, J. K. (2002): Loss of life models for sea and river floods
- Jonkman, S. N.; Vrijling, J. K. (2008): Loss of Life Due to Floods, *Journal of Flood Risk Management*
- Kleinbaum, D. G.; Klein, M. (2010): Logistic Regression: A Self-Learning Text, 3rd ed.; *Statistics for Biology and Health*, Springer: New York
- McClelland, D. M.; Bowles, D. S. (2002): Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Assessment – A Review and new Approach, *U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation*
- Qing, D.; Thibodeau, J. G.; Williams, P. B. (1997): The River Dragon Has Come!
- Reiter, P. (2001): RESCDAM: Loss of life caused by dam failure, the RESCDAM LOL Method and its application to Kyyrkösjärvi dam in Seinäjoki
- San José State University: The Catastrophic Dam Failures in China August 1975, *Department of Economics*, URL: <http://www.sjsu.edu/faculty/watkins/aug1975.htm> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Tourismusdaten von Tourismusverband St. Anton am Arlberg

## **A2 UNIVERSITÄTSARBEITEN**

- Aboelata, M. A.: Recent Advances in Life-Loss and Flood Damage Estimation for Dam and Levee Failures, *Utah State University*, Präsentation
- Dünkner, R. (2017): Flutwellenanalyse beim Versagen von Schüttdämmen, Diplomarbeit, *Technische Universität Wien*
- Ehsan, S. (2009): Evaluation of Life Safety Risks Related to Severe Flooding, unv. Diss, *Universität Stuttgart*
- Jonkman, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment, unv. Diss, *Technische Universiteit Delft*

## **A3 NORMEN UND RICHTLINIEN**

- Buchanan, K.: Consequence Assessment for Dam Failure Simulations, *U.S. Army Corps of Engineers*, Präsentation
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft:  
Grundsatzbeschlüsse der Staubeckenkommission,

- URL: <https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/nutzung-wasser/Grundsatzbeschl.html>  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Davies, W. E.; Bailey, J. F.; Kelly, D. B. (1972): West Virginia's Buffalo Creek Flood: A Study of the Hydrology and Engineering Geology, *U.S. Department of the Interior*,  
URL: <https://pubs.usgs.gov/circ/1972/0667/report.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Deutsches Normungsinstitut: DIN 4049-3:2005, Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie
- Graham, J. W. (1999): A Procedure for Estimating Loss of Life by Dam Failure, DSO-99-06, *U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office*
- Graham, J. W. (2008): The Tenton Dam Failure – An Effective Warning and Evacuation, *Reclamation – Managing Water in the West*
- Graham, J. W. (2009): Avoiding Disaster: Assuring Warning Compliance, *ASDSO Annual Conference, Hollywood: Association of State Dam Safety Officials*
- International Commission on Large Dams (2011): Constitution Statuts
- International Commission on Large Dams, URL: [http://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition\\_of\\_a\\_large\\_dam.asp](http://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Kok, M.; Huizinga, H. J.; Vrouwenvelder, A. C. W. M.; Barendregt, A. (2004):  
Standaardmethode2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen,  
*Rijkswaterstraat (Ministerium für Verkehr und Wasserstraßen)*
- McClelland, D. M.; Bowles D. S. (2002): Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Assessment – A Review and new Approach, *U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation*
- Melbinger, R.: 12 Thesen zur Sicherheit der großen Talsperren Österreichs, *Österreichische Staubeckenkommission, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*, URL: <https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/nutzung-wasser/stauanlagen.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA: Natural Disaster Survey Report 72-1: Black Hills Flood of June 9, 1972, *U.S. Department of Commerce*,  
URL: [https://www.weather.gov/media/publications/assessments/NDSR\\_72-1.pdf](https://www.weather.gov/media/publications/assessments/NDSR_72-1.pdf)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Österreichische Staubeckenkommission (1964): Stellungnahme zur Frage der Talsperrenüberwachung und Talsperrensicherheit, *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*

- Österreichische Staubeckenkommission (1998): Anforderungen an den Talsperrenverantwortlichen, *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*
- RECLAMATION – Managing Water in the West: Consequences of Flooding, URL: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/III-1-20150613.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Schwarz, F. K.; Hughes, L. A.; Hansen, E. M.; Peteren, M.S.; Kelly, D. B. (1975): The Black Hills – Rapid City Flood of June 9-10: A Description of the Storm and Flood, *U.S. Department of the Interior, U.S. Department of Commerce*, URL: <https://pubs.usgs.gov/pp/0877/report.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Spanish National Committee on Large Dams (12.12.2012): Risk Analysis Applied to Management of Dam Safety: Appendix C – Estimating loss of life, 119-132, *Professional Association of Civil Engineers*, URL: [http://www.spancold.es/archivos/monograph\\_risk\\_analysis.pdf](http://www.spancold.es/archivos/monograph_risk_analysis.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- U.S. Department of Homeland Security (2013): FEMA 64: Federal Guidelines for Dam Safety – Emergency Action Planning for Dams, URL: [https://www.fema.gov/media-library-data/5b20db599c212f77fd5e85d256f471a3/EAP+Federal+Guidelines\\_FEMA+P-64.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/5b20db599c212f77fd5e85d256f471a3/EAP+Federal+Guidelines_FEMA+P-64.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- U.S. Department of Homeland Security (2014): FEMA 93: Federal Guidelines for Dam Safety, URL: <https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1502-20490-5785/fema-93.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 14. Mai 1985 über die Staubeckenkommission (Staubeckenkommissions-Verordnung 1985), StF: BGBl. Nr. 222/1985
- Zivilschutzverband Österreich: GEMEINSAM.SICHER mit dem Zivilschutzverband, Broschüre, URL: [http://www.siz.cc/file/download/Gemeinsam\\_Sicher\\_web.pdf](http://www.siz.cc/file/download/Gemeinsam_Sicher_web.pdf) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

#### **A4 ONLINEQUELLEN**

- 7 wonders: Delta Works, Netherlands, URL: <http://www.7wonders.org/europe/netherlands/rotterdam/delta-works/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Abbildung, URL: [https://media-cdn.holidaycheck.com/w\\_1024,h\\_768,c\\_fit,q\\_80/ugc/images/11c52722-ce5b-308a-a23d-cedc5b722511](https://media-cdn.holidaycheck.com/w_1024,h_768,c_fit,q_80/ugc/images/11c52722-ce5b-308a-a23d-cedc5b722511) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Abbildung, URL: <https://media->

[cdn.holidaycheck.com/w\\_1024,h\\_768,c\\_fit,q\\_80/ugc/images/11c52722-ce5b-308a-a23d-cedc5b722511](https://cdn.holidaycheck.com/w_1024,h_768,c_fit,q_80/ugc/images/11c52722-ce5b-308a-a23d-cedc5b722511) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Abbildung, URL: <https://s-media-cache->

[ak0.pinimg.com/736x/a5/13/db/a513db2ab651025471b34a8e11e2b8ff.jpg](https://ak0.pinimg.com/736x/a5/13/db/a513db2ab651025471b34a8e11e2b8ff.jpg)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

BING Maps, URL: <https://www.bing.com/maps>

Bundesministerium für Inneres: KATWARN Österreich,

URL: [http://www.bmi.gv.at/cms/bmi\\_zivilschutz/katwarn/](http://www.bmi.gv.at/cms/bmi_zivilschutz/katwarn/) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Camping Arlberg Pettneu, URL: <http://www.camping->

[arlberg.at/de/camping/campingplatz.html](http://arlberg.at/de/camping/campingplatz.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Case Study: Canyon Lake Dam (South Dakota, 1972), URL: <http://damfailures.org/case-study/canyon-lake-dam-south-dakota-1972/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Case Study: St. Francis Dam (California, 1928), URL: <http://damfailures.org/case-study/st-francis-dam-california-1928/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Case Study: Teton Dam (Idaho, 1976), URL: <http://damfailures.org/case-study/teton-dam-idaho-1976/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

CNN Library: Hurricane Katrina Statistics Fast Facts (23.08.2016),

URL: <http://edition.cnn.com/2013/08/23/us/hurricane-katrina-statistics-fast-facts/>  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Deltawerken online: Die Hochwasserkatastrophe von 1953 – Die Folgen,

URL: <http://www.deltawerken.com/Folgen/577.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Deltawerken online: Die Hochwasserkatastrophe von 1953 – Die Rettung,

URL: <http://www.deltawerken.com/Die-Rettung/576.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Foltz, B.: Youtube-Channel: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLIeGtxpvyG->

[JmBQ9XoFD4rs-b3hkcX7Uu](https://www.youtube.com/playlist?list=PLIeGtxpvyG-JmBQ9XoFD4rs-b3hkcX7Uu) (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Foundation Stava 1985: Causes, URL: <http://www.stava1985.it/stava1985/html/10/30/>

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Foundation Stava 1985: The Failure, URL: <http://www.stava1985.it/stava1985/html/10/20/10/>

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Foundation Stava 1985: The Tailings Dams,

URL: <http://www.stava1985.it/stava1985/html/10/10/40/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Geographie Innsbruck: Tirol Atlas,

URL: <http://tirolatlas.uibk.ac.at/maps/interface/thema.py/sheet?lang=de;id=162>

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Government of the Netherlands (08.11.2012): Nationwide launch of emergency alert system

NL-Alert, URL: <https://www.government.nl/latest/news/2012/11/08/nationwide-launch-of-emergency-alert-system-nl-alert> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

History.com Staff (2009): Hurricane Katrina, *A+E Networks*,

URL: <http://www.history.com/topics/hurricane-katrina> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Land Tirol: TIRIS Geodatendienste, URL: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-geodatendienste/>

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Learn Analytics (17.01.2017): 5. Logistic Regression – Generating Logistic estimates using

Excel and Log Loss, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=x-vmTL2wU6A> (letzter

Zugriff: 03.10.2017)

Mathe Online: Lineare Regression, URL: [http://www.mathe-](http://www.mathe-online.at/nml/materialien/innsbruck/regression/Regression.pdf)

[online.at/nml/materialien/innsbruck/regression/Regression.pdf](http://www.mathe-online.at/nml/materialien/innsbruck/regression/Regression.pdf)

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

moleplan Bau- und Projektmanagement GmbH, URL: <http://www.moleplan.at/projekte/>,

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

National Weather Service: The Black Hills Flood of 1972,

URL: <http://www.weather.gov/unr/1972-06-09> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Nelson, B. (03.07.2013): 9 floods of biblical proportion, *Mother Nature Network*,

URL: <http://www.mnn.com/family/protection-safety/photos/9-floods-of-biblical-proportion/banjiao-dam-failure-1975> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Offene Daten Österreichs, URL: <https://www.data.gv.at/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Österreichische Unwetterzentrale, URL: <http://www.uwz.at/at/de/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Overseas Kachin Association (30.03.2014): Banjiao Dam Disaster 1975,

URL: <http://overseaskachinassociation21.blogspot.co.at/2014/03/banjiao-dam-disaster-1975.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Rodríguez, G.: Generalized Linear Models – Logit Models for Binary Data,

URL: <http://data.princeton.edu/wws509/notes/c3.pdf> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Rogers, D. J.: The St. Francis Dam Failure,

URL: [http://web.mst.edu/~rogersda/st\\_francis\\_dam/reassessment\\_of\\_st\\_francis\\_dam\\_failure.pdf](http://web.mst.edu/~rogersda/st_francis_dam/reassessment_of_st_francis_dam_failure.pdf) - Präsentation (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Rotterdam experience: Delta Works Tour, Abbildung,

URL: <http://rotterdamexperience.com/tour/delta-works/> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

- San José State University: The Catastrophic Dam Failures in China August 1975,  
*Department of Economics*, URL: <http://www.sjsu.edu/faculty/watkins/aug1975.htm>  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Southern California's Great Disaster – The St. Francis Dam,  
URL: [https://www.youtube.com/watch?v=H9NCBSgM\\_H0](https://www.youtube.com/watch?v=H9NCBSgM_H0) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- SPIEGEL-Verlag (22.07.1985): Katastrophen: Ende der Welt,  
URL: <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-13515877.html> (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Statistik Austria: Energieeinsatz der Haushalte,  
URL: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/energie\\_und\\_umwelt/energie/energieeinsatz\\_der\\_haushalte/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Statistik Austria: Haushaltsgrößen,  
URL: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte\\_familien\\_lebensformen/haushalte/023303.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/023303.html)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Statistik Austria: Tourismusdaten,  
URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte\\_naechtigungen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/tourismus/beherbergung/ankuenfte_naechtigungen/index.html) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Steinman, A. M.: Hypothermia, Drowning and Cold-Water Survival, *PVSS Conference, USPHS / USCG*, URL: <https://www.uscg.mil/pvs/docs/Coldwater1.pdf> – Präsentation  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Terrifying World (13.04.2015): Southern California's Great Disaster - The St. Francis Dam,  
URL: [https://www.youtube.com/watch?v=H9NCBSgM\\_H0](https://www.youtube.com/watch?v=H9NCBSgM_H0) (letzter Zugriff: 03.10.2017)
- UNISYS: 2005 Hurricane/Tropical Data for Atlantic,  
URL: <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/2005H/index.php>  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- West Virginia Division of Culture and History: Buffalo Creek,  
URL: <http://www.wvculture.org/history/buffcreek/buff1.html>  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Wikipedia: 1972 Black Hills flood, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/1972\\_Black\\_Hills\\_flood](https://en.wikipedia.org/wiki/1972_Black_Hills_flood)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)
- Wikipedia: 2005 levee failures in Greater New Orleans,  
URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/2005\\_levee\\_failures\\_in\\_Greater\\_New\\_Orleans](https://en.wikipedia.org/wiki/2005_levee_failures_in_Greater_New_Orleans)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Abbildung, URL:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Diga\\_del\\_vajont\\_1963.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Diga_del_vajont_1963.jpg)  
(letzter Zugriff: 03/10/2017)

Wikipedia: Abbildung, URL:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Disastro\\_Vajont.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Disastro_Vajont.jpg)  
(letzter Zugriff: 03/10/2017)

Wikipedia: Abbildung,

URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Longarone\\_Pirago.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Longarone_Pirago.jpg)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Abbildung,

URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Belgien1953.png>  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Abbildung,

URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/Flooding.png>  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Banqiao Dam, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Banqiao\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Banqiao_Dam)

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Flutkatastrophe von 1953,

URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe\\_von\\_1953](https://de.wikipedia.org/wiki/Flutkatastrophe_von_1953)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Hurrikan Katrina, URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Hurrikan\\_Katrina](https://de.wikipedia.org/wiki/Hurrikan_Katrina)

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Logistic Regression, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic\\_regression](https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_regression)

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Logit, URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Logit> (letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Terroranschläge am 11. September 2001, URL:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Terroranschl%C3%A4ge\\_am\\_11.\\_September\\_2001](https://de.wikipedia.org/wiki/Terroranschl%C3%A4ge_am_11._September_2001)  
(letzter Zugriff: 03.10.2017)

Wikipedia: Vajont Dam, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vajont\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Vajont_Dam)

(letzter Zugriff: 03.10.2017)

## B ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2.1: Wasseraustritte St. Francis Dam.....	7
Abb. 2.2: Ansicht Powerhouse No. 2 vor dem Unglück.....	8
Abb. 2.3: Ansicht Powerhouse No. 2 nach dem Unglück.....	8
Abb. 2.4: Ansicht Edison Construction Camp nach dem Unglück.....	9
Abb. 2.5: Überschwemmungsgebiete der Nordsee-Sturmflut in den Niederlanden.....	12
Abb. 2.6: Ansicht der „Maeslantkering“.....	13
Abb. 2.7: Ansicht des „Oosterscheldedam“.....	13
Abb. 2.8: Ansicht Stahltor des „Oosterscheldedam“.....	13
Abb. 2.9: Überschwemmungsgebiete der Nordsee-Sturmflut in Belgien.....	14
Abb. 2.10: Überschwemmungsgebiete der Nordsee-Sturmflut in Großbritannien.....	14
Abb. 2.11: Bild von Longarone nach dem Unglück.....	17
Abb. 2.12: Ansicht Vajont Damm.....	17
Abb. 2.13: Stausee nach dem Hangrutsch.....	17
Abb. 2.14: Übersicht des Mienenkomplexes.....	18
Abb. 2.15: Auswirkungen des Dammbbruchs 1.....	19
Abb. 2.16: Auswirkungen des Dammbbruchs 2.....	19
Abb. 2.17: Bruchstelle des Canyon Lake Dam.....	21
Abb. 2.18: Übersichtskarte Henan.....	22
Abb. 2.19: Ansicht des gebrochenen Damms.....	23
Abb. 2.20: Bild der Flutwelle.....	24
Abb. 2.21: Ansicht der beiden Dämme.....	29
Abb. 2.22: Ansicht des versagten Damms.....	29
Abb. 2.23: Lage von New Orleans.....	31
Abb. 2.24: geografischer Verlauf von Hurricane Katerina.....	32
Abb. 2.25: Ansicht eines überschwemmten Stadtteils.....	32
Abb. 2.26: Ansicht des Stadions von New Orleans.....	32
Abb. 2.27: Informationskette der Talsperrenüberwachung in Österreich.....	44
Abb. 2.28: Bedeutung der Sirenensignale in Österreich.....	46
Abb. 3.1: 15 Kombinationsmöglichkeiten der Graham Methode.....	79
Abb. 3.2: Unterschied zwischen betroffenem und gefährdetem Gebiet.....	82
Abb. 3.3: schematische Darstellung des betroffenen Gebiets bei Überschwemmungen.....	83
Abb. 3.4: Darstellung Stufenfunktion.....	86
Abb. 3.5: Darstellung Exponentialfunktion.....	86
Abb. 3.6: Darstellung Probit- oder Lognormal-Funktion.....	87
Abb. 3.7: Grundlegende Struktur für LOL-Estimations.....	95

Abb. 3.8 Abschätzung der Wasseranstiegsrate .....	98
Abb. 3.9:Elemente, die die verfügbare Zeit beeinflussen .....	99
Abb. 3.10: Leitfaden für Reaktion auf Warnungen bei einem Notfall .....	101
Abb. 3.11: Evakuierungs-Zeitleiste .....	102
Abb. 3.12: Hayward's Kurve für Überlebenszeit in Wasser .....	104
Abb. 3.13: Zusammenhang Rettung und Zeit .....	105
Abb. 3.14: Zoneneinteilung nach Jonkman.....	106
Abb. 3.15: Schematische Darstellung der Bruchzone .....	108
Abb. 3.16: Vergleich Formel 3-54 mit hydraulischen Simulationen .....	109
Abb. 3.17: 2,5 % und 97,5 % Konfidenzintervall der Opferratenfunktion .....	112
Abb. 3.18: Opferratenfunktion über Gebäudehöhe .....	112
Abb. 3.19 Grenze der Wasseranstiegsrate .....	113
Abb. 3.20: Gegenüberstellung der eingestürzten Gebäude und der Opferrate aus historischen Ereignissen .....	114
Abb. 3.21 Zonenaufteilung von New Orleans .....	118
Abb. 3.22: Typischer Flussquerschnitt.....	125
Abb. 3.23: Schema von LIFESim für LOL-Estimates .....	131
Abb. 3.24: vertikale Zonenaufteilung bei einem 1-geschoßigen Gebäude .....	132
Abb. 3.25: Zeitlinie für Warnungs- und Evakuierungsprozesse .....	133
Abb. 3.26: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Opferraten für die drei Zonen.....	134
Abb. 4.1: Ansicht Stauanlage Kartell .....	139
Abb. 4.2: Ansicht Hochwasserrückhaltebecken Mariasdorf/Tauchen .....	139
Abb. 4.3: Übersicht Stauanlage Kartell .....	140
Abb. 4.4: Stauanlage Kartell Dammaufbau.....	141
Abb. 4.5: Blick entlang der Rosanna.....	142
Abb. 4.6: "Linsen"-Form der Täler .....	143
Abb. 4.7: Haushaltsgröße von St. Anton, Pettneu und Flirsch.....	144
Abb. 4.8: Maximale Wasserstände Flutwelle SmartU .....	150
Abb. 4.9: Maximale Wasserstände Flutwelle Broich Smart .....	151
Abb. 4.10: Maximale Wasserstände Flutwelle BroichMP .....	151
Abb. 4.11: Maximale Wasserstände Flutwelle Pierce .....	152
Abb. 4.12: Überschwemmungsgebiet St. Anton .....	153
Abb. 4.13: Lageplan Campingplatz Pettneu .....	160
Abb. 4.14: Auszug aus der Übersichtskarte der Gebäudeklassen – St. Anton am Arlberg .	163
Abb. 4.15: Übersicht der Sektoren zur Ermittlung der Schwere der Flut .....	167
Abb. 4.16: Exemplarische Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten für SmartU und h als Parameter der Schwere der Flut.....	168

Abb. 4.17: Zoneneinteilung in St. Anton für SmartU.....	189
Abb. 4.18: Zoneneinteilung in St. Anton für BroichSmart.....	189
Abb. 4.19: Zoneneinteilung in St. Anton für BroichMP.....	190
Abb. 4.20: Zoneneinteilung in St. Anton für Pierce.....	190
Abb. 4.21: Zoneneinteilung in Pettneu für SmartU.....	191
Abb. 4.22: Zoneneinteilung in Pettneu für BroichSmart.....	191
Abb. 4.23: Zoneneinteilung in Pettneu für BroichMP.....	192
Abb. 4.24: Zoneneinteilung in Pettneu für Pierce.....	192
Abb. 4.25: Exemplarische Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten für SmartU – unveränderte Formeln – ermittelte Zonen – vorbeugende Evakuierung (VE).....	193
Abb. 4.26: Übersicht SmartU.....	207
Abb. 4.27: Übersicht Smart.....	207
Abb. 4.28: Übersicht Rüdissler.....	208
Abb. 4.29: Übersicht HQ5000.....	208
Abb. 4.30: Exemplarische Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten für SmartU und h als Parameter der Schwere der Flut.....	215

## C TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1.1: Übersicht St. Francis Dam .....	10
Tabelle 2.3.1: Übersicht Baldwin Hills Dam .....	15
Tabelle 2.4.1: Übersicht Vajont Damm .....	17
Tabelle 2.5.1: Übersicht Buffalo Creek Coal Waste Dam .....	19
Tabelle 2.6.1: Übersicht Canyon Lake Dam .....	21
Tabelle 2.7.1: Übersicht Banqiao Damm .....	25
Tabelle 2.8.1: Übersicht Teton Dam .....	27
Tabelle 2.9.1: Übersicht Laurel Run Dam .....	28
Tabelle 2.10.1: Übersicht Stava Damm .....	29
Tabelle 2.11.1: Übersicht Quail Creek Dike .....	30
Tabelle 2.13.1: Zusammenfassung der Ereignisse aus Kapitel 2 .....	33
Tabelle 3.2.1: Verwendete Daten von Brown und Graham (1989) .....	53
Tabelle 3.2.2: Opferraten für unterschiedliche Vorwarnzeiten aus Tabelle 3.2.1 .....	54
Tabelle 3.2.3: Auszug aus der Datenerstellung für die logistische Regressionsanalyse .....	56
Tabelle 3.2.4: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse Brown und Graham für $WT > 1,5$ .....	58
Tabelle 3.2.5: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse Brown und Graham für $WT < 1,5$ .....	60
Tabelle 3.2.6: Verwendete Daten von DeKay und McClelland (1993) .....	64
Tabelle 3.2.7: Richtlinie, um abzuschätzen wann Warnungen ausgesprochen werden (Graham Table 2) .....	71
Tabelle 3.2.8: Opferraten aus Fallstudien (Table 6 Graham) .....	79
Tabelle 3.2.9: Von Graham empfohlene Opferraten (Table 7 Graham) .....	80
Tabelle 3.3.1: Übersicht über die relevanten Faktoren für LOL-Estimations .....	96
Tabelle 3.3.2: Einschätzung der verfügbaren Zeit durch Experten .....	100
Tabelle 3.3.3: Übersicht über die Phasen der erforderlichen Zeit .....	102
Tabelle 3.3.4: Verwendete Daten von Jonkman für die Herleitung der Gleichungen zur Opferabschätzung .....	107
Tabelle 3.3.5 Vergleich beobachtete Opfer und berechnete .....	117
Tabelle 3.4.1: Einteilung von SEV nach der RESCDAM LOL Methode .....	120
Tabelle 3.4.2: Typische Werte für Faktoren der RESCDAM LOL Methode .....	121
Tabelle 3.4.3: Werte für <i>FATBASE</i> und <i>CORRFAT</i> .....	121
Tabelle 3.5.1: Definitionen der Schwere der Flut .....	124
Tabelle 3.5.2: Kategorien der Schwere der Flut nach Definition 1 .....	124
Tabelle 3.5.3: Kategorien der Schwere der Flut nach Definition 2 .....	124

Tabelle 3.5.4: Gegenüberstellung der Grenzwerte von <i>vh</i> und <i>DV</i> für die Schwere der Flut nach Definition 1.....	126
Tabelle 3.5.5: Grenzen der Schwere der Flut nach Definition 1 mit Parameter <i>GA</i> .....	126
Tabelle 3.5.6: Werte für <i>Fsv</i> .....	126
Tabelle 3.5.7: Einteilung der Altersklassen und ihre Wahrscheinlichkeit Opfer einer Flut zu werden.....	126
Tabelle 3.5.8: Werte für <i>Fmt</i> .....	127
Tabelle 3.5.9: Definition des Gesundheitszustands und deren Wahrscheinlichkeit Opfer einer Flut zu werden.....	128
Tabelle 3.5.10: Werte für <i>Fwar</i> .....	128
Tabelle 3.5.11: Werte für <i>Fev</i> .....	129
Tabelle 3.6.1: Unterschiede LIFESim und HEC-FIA.....	135
Tabelle 4.2.1: Verteilung der Übernachtungen und Ankünfte in der Wintersaison 2016/2017 von Tirol umgelegt auf die Ferienregion St. Anton.....	147
Tabelle 4.2.2: Verteilung der Übernachtungen und Ankünfte in der Sommersaison 2016 von Tirol umgelegt auf die Ferienregion St. Anton.....	149
Tabelle 4.2.3: Einteilung der Zeitkategorien.....	154
Tabelle 4.2.4: Einteilung der Vorwarnzeiten nach Graham.....	155
Tabelle 4.2.5: Anzahl der Betten für jede Unterkunfts-kategorie.....	157
Tabelle 4.2.6: Personal in den Unterkünften.....	157
Tabelle 4.2.7: Anzahl der Touristen in Abhängigkeit der Saison.....	158
Tabelle 4.2.8: Anzahl der Personen pro Unterkunft für alle Zeitkategorien.....	158
Tabelle 4.2.9: Durchschnittliche Haushaltsgröße im untersuchten Gebiet.....	159
Tabelle 4.2.10: Personen pro Wohnhaus für jede Zeitkategorie.....	159
Tabelle 4.2.11: Anzahl der Personen am Campingplatz für jede Zeitkategorie.....	161
Tabelle 4.2.12: Anzahl der Personen in den übrigen Gebäuden für jede Zeitkategorie.....	161
Tabelle 4.2.13: Auszug aus der Aufnahme der Gebäude im Überschwemmungsgebiet....	162
Tabelle 4.2.14: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle.....	164
Tabelle 4.2.15: Ankunftszeiten der Flutwellen in den jeweiligen Ortschaften in Minuten....	165
Tabelle 4.2.16: Vorwarnzeiten und Verständnis der Schwere der Flut.....	166
Tabelle 4.2.17: Auszug aus der Einteilung der Schwere der Flut bei der Flutwelle nach Pierce.....	168
Tabelle 4.2.18: PAR nach Ortschaften gegliedert.....	176
Tabelle 4.2.19: Positionierung der Pegelpunkte.....	179
Tabelle 4.2.20: Berechnete Wasseranstiegsraten.....	181
Tabelle 4.2.21: Gesamte verfügbare Zeit.....	183
Tabelle 4.2.22: Zeit bis es zur Evakuierung kommt.....	183

Tabelle 4.2.23: Anteil der evakuierten Personen nach Jonkman..... 185

Tabelle 4.2.24: Abschätzung der Personen in Unterschlüpfen..... 186

Tabelle 4.2.25: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle ..... 187

Tabelle 4.3.1: Einteilung der Zeitkategorien ..... 209

Tabelle 4.3.2: Einteilung der Vorwarnzeiten nach Graham ..... 210

Tabelle 4.3.3: Anzahl der Personen pro Gebäude..... 210

Tabelle 4.3.4: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle ..... 211

Tabelle 4.3.5: Ankunftszeiten der Flutwellen in den jeweiligen Ortschaften in Minuten ..... 212

Tabelle 4.3.6: Vorwarnzeiten und Verständnis der Schwere der Flut..... 213

Tabelle 4.3.7: Auszug aus der Einteilung der Schwere der Flut der Flutwelle nach SmartU  
..... 214

Tabelle 4.3.8: Opferraten beim Fußballplatz in Altschlaining..... 220

Tabelle 4.3.9: Positionierung der Pegelpunkte ..... 221

Tabelle 4.3.10: Berechnete Wasseranstiegsraten ..... 222

Tabelle 4.3.11: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle ..... 223

## D DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 3.1: Berechnete Opferraten für die Vorwarnzeit-Kategorien aus Tabelle 3.2.2 ...	54
Diagramm 3.2: LOL nach Brown und Graham (1989) .....	55
Diagramm 3.3: Darstellung der logit-Linkfunktion .....	57
Diagramm 3.4: Vergleich Brown und Graham und eigene Berechnung $WT > 1,5$ .....	58
Diagramm 3.5: Vergleich Brown und Graham und eigene Berechnung $WT < 1,5$ .....	61
Diagramm 3.6: Vergleich Brown und Graham mit Exponent 0,56 und eigene Berechnung $0,25 < WT < 1,5$ .....	62
Diagramm 3.7: Anzahl der Opfer bei starker Stärker der Flutwelle .....	66
Diagramm 3.8: Anzahl der Opfer bei schwacher Stärker der Flutwelle .....	66
Diagramm 3.9: Vergleich Opferraten, bei der Berechnung nach DeKay und McClelland für High Force, für unterschiedlich große PAR.....	75
Diagramm 3.10: Darstellung von Formel 3-38 von Waarts (1992) .....	88
Diagramm 3.11: Darstellung von Formel 3-39 von Vrouwenvelder und Steenhuis (HKV 2000) .....	89
Diagramm 3.12: Darstellung der Formeln 3-43, 3-44 und 3-45 der Standardmethode2004	91
Diagramm 3.13: Darstellung Formel 3-47 von Jonkman (2001) .....	93
Diagramm 3.14: Darstellung Formel 3-48 von Jonkman (2001) .....	93
Diagramm 3.15: Darstellung Formel 3-49 von Jonkman (2001) bei einer Evakuierungszeit von 2 Stunden .....	94
Diagramm 3.16: Vergleich LOG-Normalverteilung mit exponentieller Verteilung .....	111
Diagramm 3.17: Vergleich LOG-Normalverteilung mit exponentieller Verteilung .....	116
Diagramm 3.18: Darstellung Opferrate nach Jonkman bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s ohne Berücksichtigung besserer Gebäude .....	116
Diagramm 4.1: Durchschnittliche Haushaltsgrößen von Österreich und Tirol .....	144
Diagramm 4.2: Entwicklung der Haushaltsgröße in St. Anton, Pettneu und Flirsch .....	145
Diagramm 4.3: Ankünfte in der Ferienregion St. Anton während der Wintersaison .....	147
Diagramm 4.4: Anzahl der Personen, die im Winter pro Nacht in der Ferienregion St. Anton sind .....	148
Diagramm 4.5: Anzahl der Personen, die im Sommer pro Nacht in der Ferienregion St. Anton sind .....	149
Diagramm 4.6: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle .....	164
Diagramm 4.7: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Winter nach Graham .....	169
Diagramm 4.8: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Graham .....	169
Diagramm 4.9: Opferrate am Tag im Winter nach Graham .....	171
Diagramm 4.10: Opferrate in der Nacht im Winter nach Graham .....	171

Diagramm 4.11: Opferzahlen am Tag im August nach Graham.....	172
Diagramm 4.12: Opferzahlen in der Nacht im August nach Graham.....	172
Diagramm 4.13: Opferrate am Tag im August nach Graham .....	173
Diagramm 4.14: Opferrate in der Nacht im August nach Graham .....	173
Diagramm 4.15: Opferzahlen am Tag im Mai nach Graham .....	174
Diagramm 4.16: Opferzahlen in der Nach im Mai nach Graham .....	174
Diagramm 4.17: Opferrate am Tag im Mai nach Graham.....	175
Diagramm 4.18: Opferrate in der Nacht im Mai nach Graham .....	175
Diagramm 4.19: Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Ortschaften gegliedert .....	177
Diagramm 4.20: Opferraten in der Nacht im Winter nach Ortschaften gegliedert.....	177
Diagramm 4.21: Wasseranstieg PP2.....	180
Diagramm 4.22: Wasseranstieg PP3.....	180
Diagramm 4.23: Wasseranstieg PP4.....	180
Diagramm 4.24: Wasseranstieg PP5.....	180
Diagramm 4.25: Wasseranstieg PP6.....	180
Diagramm 4.26: Zeitlicher Verlauf der Evakuierungen bei vorhergesehenen Fluten.....	184
Diagramm 4.27: Zeitlicher Verlauf der Evakuierungen bei unvorhergesehenen Fluten.....	184
Diagramm 4.28: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bei jedem Gebäude .....	186
Diagramm 4.29: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle .....	187
Diagramm 4.30: Opferzahlen am Tag im Winter nach Jonkman .....	194
Diagramm 4.31: Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Jonkman .....	194
Diagramm 4.32: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) am Tag im Winter nach Jonkman .....	196
Diagramm 4.33: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) in der Nacht im Winter nach Jonkman.....	196
Diagramm 4.34 Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) am Tag im Winter nach Jonkman .....	197
Diagramm 4.35 Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) in der Nacht im Winter nach Jonkman .....	197
Diagramm 4.36: Opferzahlen am Tag im August nach Jonkman .....	198
Diagramm 4.37: Opferzahlen in der Nacht im August nach Jonkman .....	198
Diagramm 4.38: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) am Tag im August nach Jonkman .....	199
Diagramm 4.39: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) in der Nacht im August nach Jonkman.....	199
Diagramm 4.40: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) am Tag im August nach Jonkman .....	200

Diagramm 4.41: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) in der Nacht im August nach Jonkman .....	200
Diagramm 4.42: Opferzahlen am Tag im Mai nach Jonkman .....	201
Diagramm 4.43: Opferzahlen in der Nacht im Mai nach Jonkman .....	201
Diagramm 4.44: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) am Tag im Mai nach Jonkman .....	202
Diagramm 4.45: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) in der Nacht im Mai nach Jonkman .....	202
Diagramm 4.46: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) am Tag im Mai nach Jonkman.....	203
Diagramm 4.47: Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) in der Nacht im Mai nach Jonkman.....	203
Diagramm 4.48: PAR für jede Zeitkategorie und Flutwelle.....	211
Diagramm 4.49: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Winter nach Graham .....	215
Diagramm 4.50: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Graham .....	216
Diagramm 4.51: Ermittelte Opferraten am Tag im Winter nach Graham.....	217
Diagramm 4.52: Ermittelte Opferraten in der Nacht im Winter nach Graham .....	217
Diagramm 4.53: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Sommer nach Graham .....	218
Diagramm 4.54: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Sommer nach Graham.....	218
Diagramm 4.55: Ermittelte Opferraten am Tag im Sommer nach Graham .....	219
Diagramm 4.56: Ermittelte Opferraten in der Nacht im Sommer nach Graham .....	219
Diagramm 4.57: EXP für jede Zeitkategorie, Evakuierung und Flutwelle .....	223
Diagramm 4.58: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Winter nach Jonkman.....	224
Diagramm 4.59: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Winter nach Jonkman .....	224
Diagramm 4.60: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) am Tag im Winter nach Jonkman.....	225
Diagramm 4.61: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) in der Nacht im Winter nach Jonkman .....	226
Diagramm 4.62: Ermittelte Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) am Tag im Winter nach Jonkman .....	226
Diagramm 4.63: Ermittelte Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet ( <b>PAR</b> ) in der Nacht im Winter nach Jonkman.....	227
Diagramm 4.64: Ermittelte Opferzahlen am Tag im Sommer nach Jonkman .....	228
Diagramm 4.65: Ermittelte Opferzahlen in der Nacht im Sommer nach Jonkman .....	228
Diagramm 4.66: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist ( <b>EXP</b> ) am Tag im Sommer nach Jonkman .....	229

Diagramm 4.67: Opferraten bezogen auf die Bevölkerung die der Flut tatsächlich ausgesetzt ist (**EXP**) in der Nacht im Sommer nach Jonkman..... 229

Diagramm 4.68: Ermittelte Opferraten bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (**PAR**) am Tag im Sommer nach Jonkman ..... 230

Diagramm 4.69: Ermittelte Opferraten in der Nach bezogen auf die Personen im Gefahrengebiet (**PAR**) im Sommer nach Jonkman..... 230

Diagramm 4.70: Gegenüberstellung der Opferraten nach Graham und Jonkman beim Fallbeispiel Kartell..... 232

Diagramm 4.71: Gegenüberstellung der Opferraten nach Graham und Jonkman beim Fallbeispiel Mariasdorf ..... 233