

Objektschutz bei Hochwasser: Risikobasierte Massnahmenwahl

**unter spezieller Berücksichtigung der Zuverlässigkeit
der Schutzmassnahmen und des Personenrisikos**

**Abschlussarbeit Dr. Pierre Vanomsen im Rahmen des
CAS ETH in Risiko und Sicherheit technische Systeme**

Referenten: Herr Prof. Dr. Mario Fontana, Institut für Baustatik und
Konstruktion, ETH Zürich

Koreferenten: Herr Dr. Michael Bründl, Lawinen und Prävention,
Lawinendynamik und Risikomanagement, WSL-Institut für Schnee- und
Lawinenforschung SLF

Abschlussarbeit ohne Fallbeispiel

Inhalt

1	Abstract	4
2	Einleitung	6
3	Ziel	6
4	Methode	7
4.1	Zuverlässigkeit	7
4.2	Personenrisiko	8
5	Ergebnis	9
5.1	Zuverlässigkeit von mobilen Objektschutzmassnahmen	9
5.1.1	Ereignisse	9
5.1.2	Literatur	9
5.1.3	Zuverlässigkeit	11
5.2	Personenrisiko im Gebäude	15
5.2.1	Ereignisse	15
5.2.2	Literatur	16
5.2.3	Personenrisiko	22
6	Kein Fallbeispiel	26
7	Diskussion	26
8	Literaturverzeichnis	28
9	Anhang	31

1 Abstract

Bei der Planung von Objektschutzmassnahmen gegen Naturgefahren gibt es bereits einige Hilfsmittel, welche auch einen risikobasierten Ansatz zulassen, insbesondere RIKO [6] und PROTECT [26] gelten diesbezüglich als Standardwerke.

Dennoch bestehen Wissenslücken, so zum Beispiel im Bereich der Zuverlässigkeit von mobilen Objektschutzmassnahmen. Weiter besteht ein Bedarf nach fundierten Angaben zu Personenrisiken im Gebäude im Falle einer Überschwemmung; es fehlen Letalitätsfaktoren, welche sich spezifisch auf die betroffenen Personengruppen oder auf die Fluchtmöglichkeiten beziehen.

Aus diesen Gründen sollen diese beiden Punkte genauer untersucht werden im Rahmen der Abschlussarbeit zum Certificate of Advanced Studies (CAS) in Risiko und Sicherheit technischer Systeme.

Der methodische Ablauf ist bei beiden Fragen derselbe – auf der Basis einer kurzen Literaturrecherche wird ein Ansatz entwickelt und formuliert: Die Zuverlässigkeit mobiler Objektschutzmassnahmen wird mit einem Fehlerbaum ermittelt. Die Letalität der Personen in einem überschwemmten Gebäude wird aufgrund von personenspezifischen und gebäudespezifischen Faktoren bestimmt.

Die Fehlerbaumanalyse zum mobilen Objektschutz setzt sich aus dem Teilsystem Mensch und dem Teilsystem Tragwerk zusammen. Die zugrundeliegenden Basisereignisse können situativ für die Objektschutzmassnahme zusammengesetzt werden.

Die entscheidenden Faktoren für die Bestimmung der Letalität lassen sich aufgrund der Literatur gut bestimmen. Jedoch finden sich keine Angaben über den Wert des Faktors oder wie die Faktoren miteinander zu verknüpfen sind. Die in diesem Kapitel gemachten Angaben müssen als Vorschlag verstanden werden.

Die Ergebnisse werden am Beispiel der Kantonalen Notrufzentrale St. Gallen validiert. Dabei werden verschiedene Annahmen getroffen, um die Versagenswahrscheinlichkeit der Varianten Dammbalken und Klappschott zu bestimmen. Diese Annahmen können in den wenigsten Fällen in der Literatur gefunden werden und haben einen starken Bezug zum Fallbeispiel.

Die Versagenswahrscheinlichkeiten im Fallbeispiel sind bei beiden Varianten sehr gering im Vergleich zu den Erfahrungswerten der Gebäudeversicherungen [18]. Der Grund liegt einerseits in der vorzüglichen Massnahmenplanung und –umsetzung (unabhängige Alarmierung, 24-Stunden-Pikettdienst und Einsatz der Feuerwehr). Auf der anderen Seite sind möglicherweise die getroffenen Versagenswahrscheinlichkeiten der Basisereignisse zu optimistisch.

Werden die Letalitätsfaktoren nach dem in dieser Arbeit vorgeschlagenen Methode berechnet, ergibt sich ein hohes Ausgangsrisiko; das kollektive Personenrisiko beträgt 230'000 CHF/Jahr und das individuelle Personenrisiko verletzt das Schutzziel gemäss Bründl et al. [6] deutlich. Nachdem eine der beiden Varianten (Dammbalken oder

Klappschott) realisiert wird, sinkt das kollektive Personenrisiko stark und das individuelle Personenrisiko erfüllt das Schutzziel.

Bei der Diskussion der Ergebnisse wird klar, dass grundsätzlich eine Fehlerbaumanalyse sinnvoll ist, um die Zuverlässigkeit der Objektschutzmassnahmen auf eine einfache und klare Weise zu ermitteln. So kann der in dieser Arbeit vorgeschlagene Fehlerbaum für verschiedene Objektschutzmassnahmen verwendet werden. Die Frage nach der Grösse der Versagenswahrscheinlichkeit ist schwierig zu bestimmen. Da wenig Literaturwerte oder Daten vorhanden sind, sind diese Annahmen kaum belastbar. Dennoch zeigt sich deutlich, dass es immer schwierig sein wird, gute Angaben zu treffen – der Grund liegt bei den grossen Unterschieden zwischen den zu untersuchenden Objekten.

Eine ähnliche Problematik stellt sich bei der Bestimmung der Letalität von Personen im Gebäude. Das vorgeschlagene Schema zur Berechnung der Letalität erlaubt eine nachvollziehbare Methode, aber die Grösse der Parameter können nicht aus der Literatur entnommen werden.

2 Einleitung

Der Risikogedanke hat sich im Naturgefahrenbereich etabliert – beginnend in den 1990er Jahren bewegte sich Forschung und Praxis weg von der ursprünglichen Gefahrenabwehr zur Risikokultur hin. Dennoch bestehen Wissenslücken, so zum Beispiel im Bereich der Zuverlässigkeit von mobilen Objektschutzmassnahmen. Permanente Objektschutzmassnahmen können mit den Methoden für den Flächenschutz auf ihre Zuverlässigkeit hin beurteilt werden, diese können aber nicht auf mobile Schutzbauten angewendet werden [26]. Weiter besteht ein Bedarf nach fundierten Angaben zu Personenrisiken im Gebäude im Falle einer Überschwemmung; es fehlen Letalitätsfaktoren welche sich spezifisch auf die betroffenen Personengruppen beziehen (Erwachsene, Kinder oder Personen mit einer eingeschränkten Mobilität) und welche die Eigenheiten des Gebäudes berücksichtigen (Früherkennung und Fluchtwege).

3 Ziel

Im Rahmen der Abschlussarbeit des Certificate of Advanced Studies (CAS) in Risiko und Sicherheit technische Systeme wird die risikobasierte Massnahmenwahl für ein Gebäudes im potentiellen Überflutungsgebiet genauer untersucht. Dabei werden die Aspekte der Zuverlässigkeit von mobilen Hochwassersystemen betrachtet und die Risiken der Personen im Gebäude bestimmt und mit Literaturwerten validiert.

Aus diesen Gründen wird im Rahmen der Abschlussarbeit ein Vorschlag gemacht wie

- *die Zuverlässigkeit einer Objektschutzmassnahme im Detail bestimmt werden kann,*
- *die Personenrisiken im Gebäude bedingt durch Überschwemmungen näher betrachtet werden können.*

Die Ergebnisse werden am Beispiel der Kantonalen Notrufzentrale St. Gallen validiert.

Die Ergebnisse beziehen sich auf eine Überflutung. Die Überflutung kann durch Hochwasser, Oberflächenwasser bei Starkregen oder durch einen Dammbruch einer Stauanlage hervorgerufen werden.

Die Arbeit ist entsprechend aufgebaut: In den Kapiteln Ziel, Methode und Ergebnis wird auf die Zuverlässigkeit und das Personenrisiko eingegangen. Im Kapitel 5 werden die gewonnenen Erkenntnisse am Fallbeispiel der Kantonalen Notrufzentrale St. Gallen erprobt und im Kapitel Diskussion kritisch betrachtet.

4 Methode

Die Fragestellung wird aufgrund von Literaturauswertungen umrissen und mit einem Vorschlag beantwortet. Die beiden Vorschläge zur Zuverlässigkeit und zum Personenrisiko werden an einem Fallbeispiel geprüft.

Die beiden untersuchten Fragen sind eng an den bestehenden Leitfaden ‚Risikokzept für Naturgefahren‘ geknüpft [6]. Das Vorgehen für eine Sicherheitsbeurteilung folgt dem Schema in Abbildung 1. Das Risikokzept setzt sich aus der Risikoanalyse, der Risikobewertung und der Massnahmenplanung zusammen.

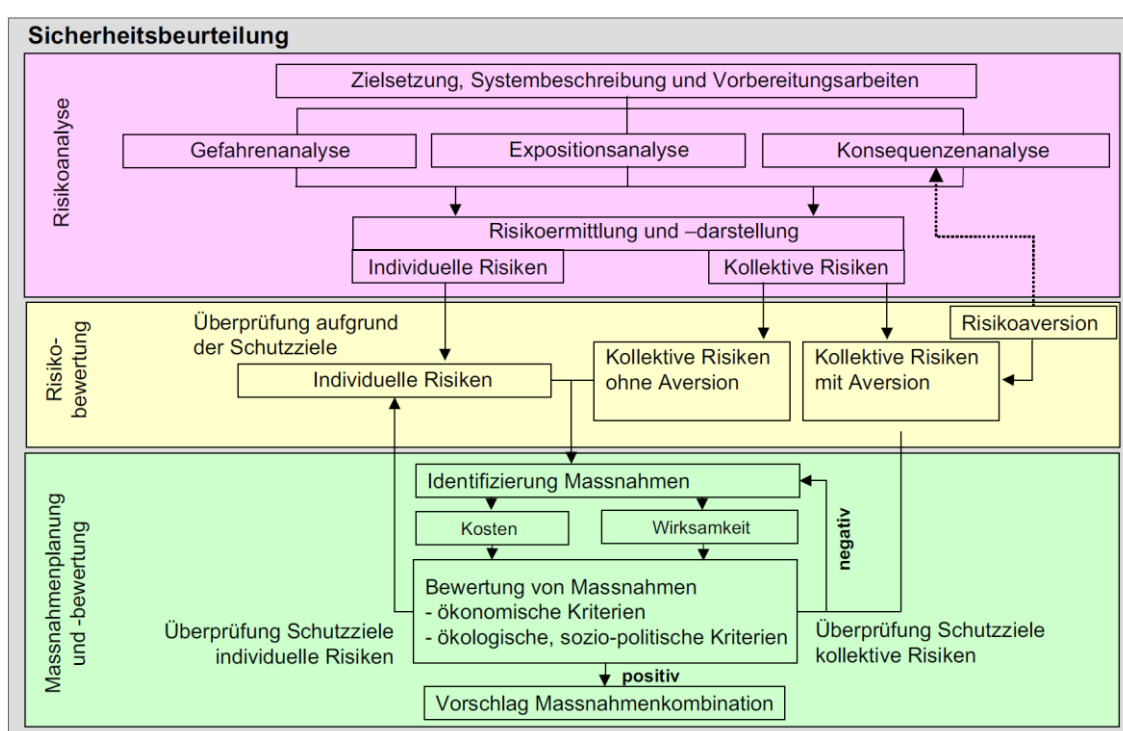


Abbildung 1: Die Sicherheitsbeurteilung mit den Elementen Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung/-bewertung [5].

4.1 Zuverlässigkeit

Permanente Schutzmassnahmen können mit den Methoden für den Flächenschutz auf ihre Wirksamkeit hin beurteilt werden, diese gelten aber nicht für mobile Schutzbauten [26]. Die Wirksamkeit einer Schutzmassnahme setzt sich aus der Zuverlässigkeit (Versagenswahrscheinlichkeit) und der Wirkung auf den Gefahrenprozess zusammen. Bei mobilen Objektschutzmassnahmen ist die Wirkung auf den Gefahrenprozess vernachlässigbar; somit kann die Wirksamkeit der mobilen Massnahmen direkt an der Zuverlässigkeit bzw. an der Versagenswahrscheinlichkeit gemessen werden.

Im Leitfaden ‚Risikokzept für Naturgefahren‘ [6] wird die Wirksamkeit einer Schutzmassnahme am Einzelobjekt mit dem Objektschutzfaktor ausgedrückt. Ist der Objektschutzfaktor 1.0 so werden Personen und Sachwerte im betrachteten Gebäude

vollständig geschützt. Ist der Faktor 0.0 ist die Schutzbaute nicht wirksam. Da im Fall der mobilen Objektschutzmassnahmen die Wirksamkeit direkt auf die Zuverlässigkeit zurückzuführen ist, kann der Objektschutzfaktor aus der Zuverlässigkeit bzw. aus der Versagenswahrscheinlichkeit bestimmt werden.

Die Zuverlässigkeit von technischen Anlagen und Systemen können mit einem Fehlerbaum analysiert werden. Diese Methodik soll im Rahmen dieser Arbeit für mobile Objektschutzmassnahmen angewendet werden. Die Versagenswahrscheinlichkeiten werden im Fehlerbaum mit den Verknüpfungen UND und ODER in Verbindung gesetzt. Ein UND verknüpft das Ereignis A und B und ergibt die Wahrscheinlichkeit, dass beide Ereignisse versagen:

$$P(A \text{ und } B) = P(A) \times P(B)$$

Ein ODER besagt, dass das eine oder beide Ereignisse ausgefallen sind. Es berechnet sich wie folgt:

$$P(A \text{ oder } B) = P(A) + P(B) - P(A) \times P(B)$$

Sind die Versagenswahrscheinlichkeiten sehr klein (kleiner als 0.01), so wird auf die Subtraktion der Schnittmenge $P(A) \times P(B)$ verzichtet; die Versagenswahrscheinlichkeit wird dadurch minimal erhöht.

Mit den obigen Berechnungen lassen sich iterativ die einzelnen Versagenswahrscheinlichkeiten im Baum bis zu dem Top-Ereignis berechnen. Das Top-Ereignis ist das Versagen der mobilen Objektschutzmassnahme.

4.2 Personenrisiko

Die Frage nach dem Personenrisiko hängt vom Personenschaden ab, dieser wird errechnet aufgrund der Letalität einer Person (siehe Konsequenzenanalyse in Abbildung 1). Die Letalität drückt in diesem Zusammenhang eine Wahrscheinlichkeit aus, dass eine Person bei einer Wassereinwirkung ums Leben kommt.

Der Personenschaden wird aufgrund des Todesfalls berechnet; weitere Kosten wie allfällige Gesundheitskosten, Kosten für Arbeitsausfälle etc. werden bei der Bestimmung des Schadenausmasses nicht berücksichtigt. Das Schadenausmass und entsprechend das Risiko wird unterschieden in kollektives und individuelles Personenrisiko. Das kollektive Risiko beschreibt das Risiko für eine Personengruppe. Das individuelle Risiko bezieht sich auf eine besonders exponierte Einzelperson und wird als jährliche Todesfallwahrscheinlichkeit ausgedrückt. Das kollektive Personenrisiko wird monetarisiert und fliesst in die Kosten – Nutzen – Analyse der Schutzmassnahmen ein [6], [21].

5 Ergebnis

5.1 Zuverlässigkeit von mobilen Objektschutzmassnahmen

5.1.1 Ereignisse

Im Rahmen der Ereignisanalyse zum Hochwasser 2005 wurde auch die Verletzlichkeit von Gebäuden und die Wirksamkeit von Objektschutzmassnahmen untersucht [32]. Die Untersuchung zeigte, dass eine hohe Zuverlässigkeit einer Objektschutzmassnahme ein grundlegendes Element für den erfolgreichen Einsatz im Ereignisfall ist. Neben der hohen Zuverlässigkeit ist auch die richtige Einschätzung des Gefahrenszenarios unabdingbar. Bei den insgesamt fünf untersuchten Beispielen konnten zwei Gebäude nicht erfolgreich geschützt werden. Bei einem Gebäude im Berner Mattequartier war die Zuverlässigkeit aufgrund der Unterdimensionierung der Schutzmassnahme gering und das Gefahrenszenario war falsch eingeschätzt worden. Auch im Spital Stans verlief das Szenario anders als vorgesehen und aufgrund der eingeschränkten Gebrauchstauglichkeit war die Zuverlässigkeit gering.

5.1.2 Literatur

Die Beurteilung der Zuverlässigkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren gemäss Romang et al. [26] erfolgt nach der Abbildung 2. Die Beurteilung umfasst die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Baute, welche schliesslich Angaben zur Zuverlässigkeitsklasse erlauben.

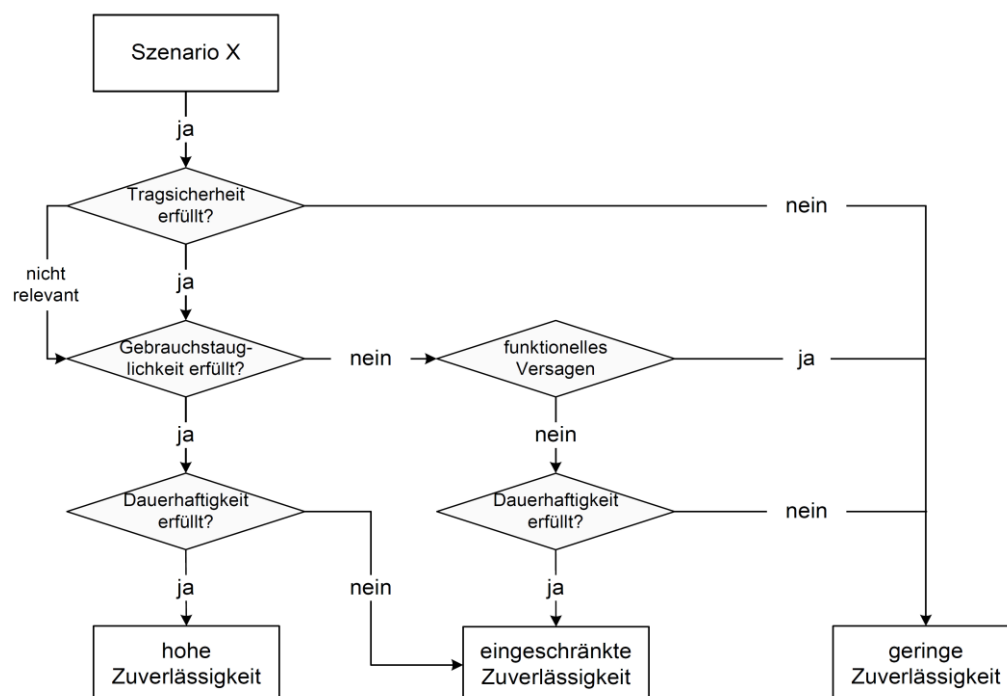


Abbildung 2: Klassierung der Zuverlässigkeit aufgrund der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit [27].

In der Publikation von Romang et al. [26] sind den Zuverlässigkeitsklassen auch entsprechende Versagenswahrscheinlichkeiten zugeordnet, stellen aber nur grobe Richtwerte dar:

- Bei einer hohen Zuverlässigkeit ist die Versagenswahrscheinlichkeit $< 10\%$
- Bei einer eingeschränkten Zuverlässigkeit ist die Versagenswahrscheinlichkeit im Bereich von 20% bis 50%
- Bei einer geringen Zuverlässigkeit ist die Versagenswahrscheinlichkeit ungefähr 90%

Die Schutzmassnahmen, welche nach Romang et al. [26], [27] beurteilt werden, umfassen explizit keine mobilen Massnahmen wie mobilen Hochwasserschutz. Der Grund liegt im Fokus dieser Publikationen – es werden nur Massnahmen berücksichtigt welche eine hohe Verfügbarkeit aufweisen, um in der Gefahrenbeurteilung sinnvoll einbezogen werden zu können.

In der Arbeit zum BWK Merkblatt werden detaillierte Betrachtungen zur Zuverlässigkeit von mobilen Hochwasserschutzmassnahmen gemacht [12]. Ausgehend von den Basisereignissen (in Tabelle 1 Initialereignisse genannt) werden Versagensabläufe für die statischen Systemkomponenten dargestellt. Die Versagensabläufe werden als Ereignisablaufdiagramme dargestellt. Die in Kapitel 5.1.3 gemachten Überlegungen stützen sich auf diese Ergebnisse.

Gefährdung	Wirkung: W iderstandsseite E inwirkungsseite	Initialereignis
Festkörperanprall	E	Anprall Baum
		Anprall Eisschollen
		Anprall abgetriebene Fahrzeuge
		Anprall Leichtbauobjekte
		Anprall Sonstiges Treibgut
Schiffsstoß	E	Schiffsanprall
Landseitiger Anprall	E	Fahrzeugstoß (im Betrieb → Krafteinwirkung)
	W	Fahrzeugstoß (im Aufbau → Systembeschädigung)
Konstruktionsfehler/ Werkstofffehler	W	Fehlerhafte Bemessung (Dimensionierung)
		Verarbeitungsfehler (Verdichten / Schweißen)
		Organische Einschlüsse Boden etc.
Anthropogen verursacht	W	Sabotage
		Fehler im logistischen Ablauf: unzureichende Systemtragfähigkeit, zu geringe Widerstandskraft der Bauteile
Baugrunddurchströmen (nur für Baugrundbe- trachtung relevant)	E/W	Erosion (Innere E. / Kontakt-E.)
		Suffosion (Innere S. / Kontakt-S.)
		Auftrieb
		Hydraulischer Grundbruch
Überströmen	E	Schwingungen
		Baugrunderosion landseitig
Durchströmen (sekun- där)	E	Schwingungen
		Baugrunderosion landseitig

Tabelle 1: Zusammenstellung der Initialereignisse, welche zu einem möglichen Versagen von mobilen Hochwasserschutzmassnahmen führen können [12].

Auch die Fachkommission Technischer Elementarschutz (FTE) der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) hat sich mit dem Thema der Zuverlässigkeit von mobilem Objektschutz auseinandergesetzt [18]. Das Ergebnis ist eine Bewertung der Erstellungssicherheit von mobilen Objektschutzmassnahmen in Form eines Excel – Tabellenblattes. Der Schwerpunkt liegt dabei bei der Alarmsicherheit, der Einsatzsicherheit und der Zeitsicherheit.

5.1.3 Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit mobiler Objektschutzmassnahmen hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab; diese werden in der Folge als Fehlerbaum dargestellt. Der Fehlerbaum ist in zwei verschiedene Teilsysteme getrennt: bei einem erfolgreichen Einsatz der Schutzmassnahme muss sowohl das Tragwerk als auch der Mensch zuverlässig arbeiten. Entsprechend ist der Fehlerbaum getrennt in den Fehlerbaum Tragwerk und Mensch. Für die Darstellung des Teilsystems Mensch wurden die Ergebnisse zum Entwurf zum BWK-Merkblatt übernommen und vereinfacht [12].

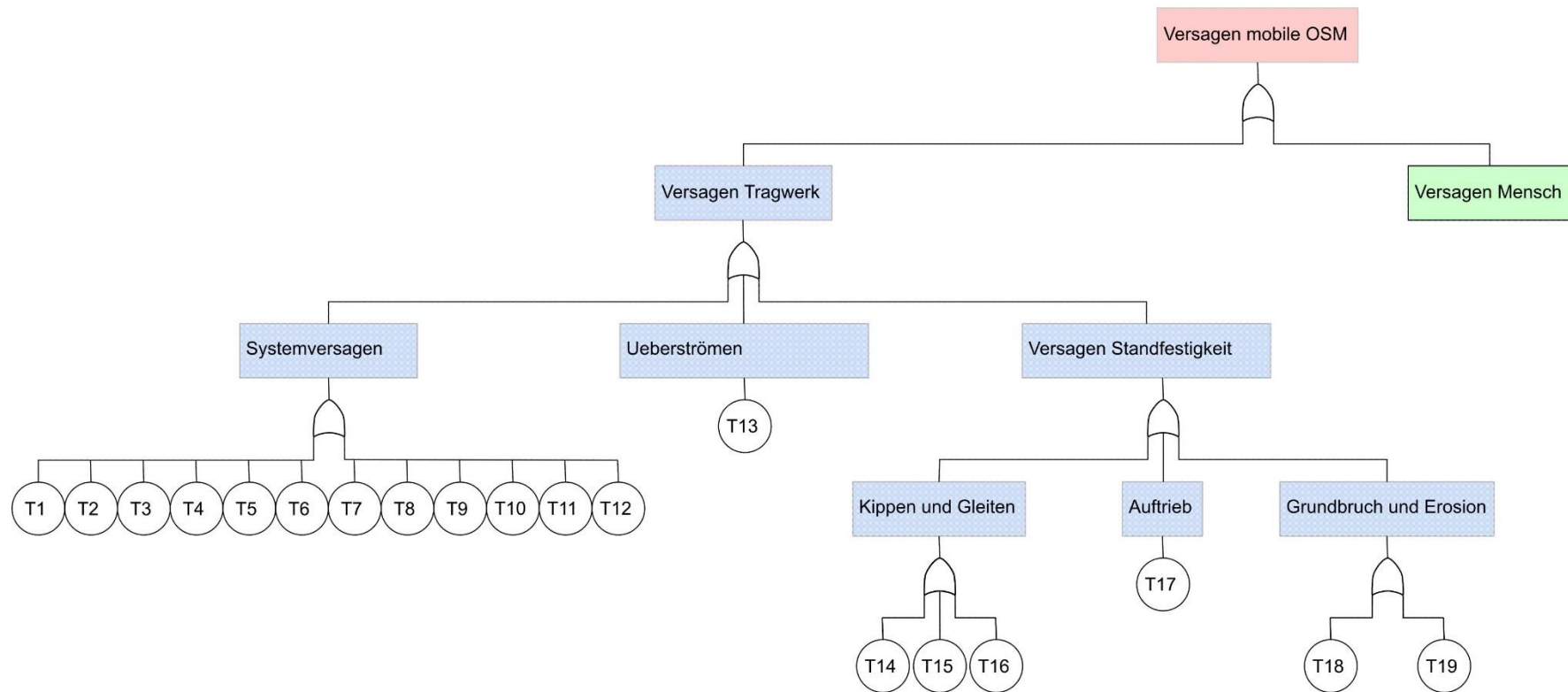


Abbildung 3: Fehlerbaumanalyse Teilsystem Tragwerksversagen (OSM: Objektschutzmassnahme, T1 bis T19 sind die Basisereignisse gemäss Tabelle 2)

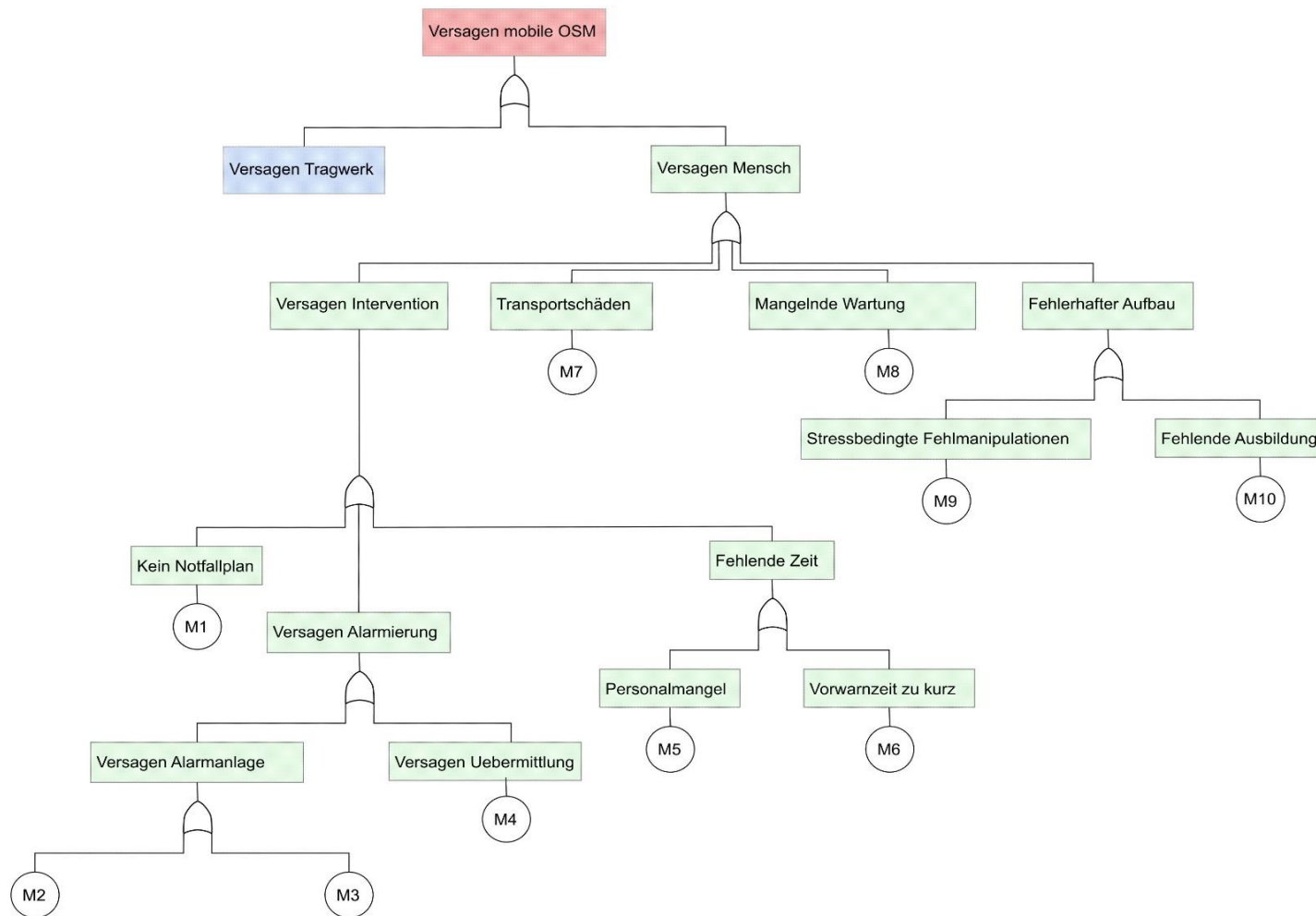


Abbildung 4: Fehlerbaumanalyse Teilsystem menschliches Versagen (OSM: Objektschutzmassnahme, M1 bis M10 sind die Basisereignisse gemäss Tabelle 3)

FTA	Ereignis		Basisereignis
Versagen Tragwerk	Systemversagen	T1	Treibgutanprall
		T2	Geschiebeanprall
		T3	Fahrzeuganprall landseitig
		T4	Fehlerhafte Bemessung
		T5	Materialfehler
		T6	Korrosion
		T7	Alterung Bauteil
		T8	Hydrostatische Einwirkung
		T9	Hydrodynamische Einwirkung
		T10	Wellendruck
		T11	Windlast
		T12	Personenlast
	Überströmen	T13	Planungsfehler Tragwerk
	Kippen Gleiten	T14	Versagen Stützsystem
		T15	Versagen Verspannungsvorrichtung
		T16	Versagen der Verriegelung
	Auftrieb	T17	Fehlende Dichte
	Grundbruch	T18	Überschwemmungsdauer
	Erosion	T19	Untergrund

Tabelle 2: Zusammenstellung der Basisereignisse für das Teilsystem Tragwerk

FTA	Ereignis		Basisereignis
Versagen Mensch	Kein Notfallplan	M1	Planungsfehler Notfallplan
	Versagen Alarmanlage	M2	Fehler Messgerät
		M3	Unterbruch Energieversorgung
	Versagen Übermittlung	M4	Ausfall Kommunikationsnetz
	Personalmangel	M5	Fehlende Erreichbarkeit
	Vorwarnzeit zu kurz	M6	Wegzeit + Interventionszeit zu lang
	Transportschäden	M7	Zeitdruck
	Mangelnde Wartung	M8	Unterlassen
	Stressbedingt Fehlmanipulationen	M9	Fehlmanipulation
	Fehlende Ausbildung	M10	Fehlende Ausbildung

Tabelle 3: Zusammenstellung der Basisereignisse für das Teilsystem Mensch

5.2 Personenrisiko im Gebäude

Im Fall einer Überschwemmung dringt Wasser in das Gebäude ein, dieses kann Personen gefährden, welche sich unterhalb der Überschwemmungskote befinden. Wie stark eine Person durch die Wassereinwirkung Schaden nimmt, wird durch die Verletzlichkeit beschrieben, im Extremfall stirbt die Person. Die Letalität drückt in diesem Zusammenhang eine Wahrscheinlichkeit aus, dass eine Person bei einer Wassereinwirkung ums Leben kommt.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Letalität von Personen, welche sich während einer Überflutung in einem Gebäude befinden. Die Überflutung kann durch Hochwasser, Oberflächenwasser bei Starkregen oder durch einen Dammbruch einer Stauanlage hervorgerufen werden.

5.2.1 Ereignisse

Todesfälle bedingt durch Überschwemmungen sind in der Schweiz sehr selten, wie die Auswertungen aus Schadenszahlen ergeben. Als verlässliche Quelle dient dazu die Unwetterdatenbank der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Diese sammelt seit 1972 Angaben zu Unwetterschäden aufgrund von Medienberichten. Die Datenbank umfasst Naturgefahrenprozesse wie Hochwasser, Murgang, Rutschung sowie seit 2002 auch Sturzereignisse.

Die folgende Tabelle wiedergibt auszugsweise Hochwasserereignisse mit Todesopfern aus der Unwetterdatenbank der WSL ergänzt mit weiteren Fällen aus dem benachbarten Ausland.

Ereignis	Jahr	Land	Schaden	Ort	Quelle
Hochwasser	1953	Niederlanden	1800 Todesopfer		[14]
Hochwasser	1962	Deutschland, Hamburg	315 Todesopfer		[14]
	1987	Schweiz	3 Todesopfer	Befahren von überschwemmten Strassen	[14]
	1987	Schweiz, Boll	1 Todesopfer	Untergeschoss/ Tiefgarage	[14]
Wildbach	1987	Frankreich, Savoyen	23 Todesopfer	Campieren im Abflussprofil des Hochwassers	[14]
Wildbach	1993	Schweiz, Brig	2 Todesopfer	Gebäude, fehlender Fluchtweg in höher gelegene Bereiche	[14]
Hochwasser	1999	Südfrankreich	24 Todesopfer	Personenwagen, Gebäude, im Freien	[14]
Wildbach	2009	Schweiz,	2 Todesopfer	Vom Bach mitgerissen	[18]

Ereignis	Jahr	Land	Schaden	Ort	Quelle
		Wolfenschiessen			
Wildbach	2013	Schweiz, Sulz AG	1 Todesopfer	Auto vom Bach mitgerissen	[1]
Wildbach	2014	Schweiz, Kaltbrunn	1 Todesopfer	Vom Bach mitgerissen	[1]
Wildbach	2014	Schweiz, Thörishaus	1 Todesopfer	Vom Bach mitgerissen	[3]
	2015	Schweiz, Dierikon	2 Todesopfer	Untergeschoss Wohnhaus	[25]

Tabelle 4: Todesfälle aufgrund von Hochwasserereignissen, Liste ist nicht vollständig.

Aus den Daten lassen sich folgende Punkte herauschälen [14]:

- Personenschäden hängen ab vom Aufenthaltsort: Die Letalität ist unterschiedlich im Freien, im Camping, im Fahrzeug oder im Gebäude.
- Schwere Personenschäden entstehen dort, wo grossflächige und tiefe Überschwemmungen auftreten. Die Menschen sind in solchen Fällen zu weit von einem sicheren Aufenthaltsort entfernt. Die Schweiz kennt solche grossflächigen und tiefen Überschwemmungen bisher noch nicht, obwohl sie gemäss der Gefahrenbeurteilung grundsätzlich möglich sind.
- In der Schweiz spielte bei 40 % der 67 registrierten Todesfälle infolge Hochwasser zwischen 1972 und 2001 Fehlverhalten eine Rolle.

Die Aussagekraft der Datenbank zur Bestimmung der Verletzlichkeit von Personen bei einer Überflutung ist beschränkt – sie lässt wichtige Eckpunkte erkennen, kann aber keine Angaben zur Wahrscheinlichkeit eines Todesfalls liefern. Dazu fehlt die gesamte Zahl der exponierten Personen.

5.2.2 Literatur

Im Leitfaden ‚Risikokonzept für Naturgefahren‘ [6] fliesst die Letalität λ linear in die Berechnung der Personenschäden ein und bestimmt damit entscheidend das Schadenausmass und das Personenrisiko. So berechnet sich das individuelle Schadenausmass gemäss Bründl et al. [6] pro Szenario:

$$A(PG)_{j,ind} = p(rA)_j \times p(pr)_i \times (1 - \varepsilon_i) \times \lambda_{i,j}$$

$A(PG)_{j,ind}$:	Individuelles Schadenausmass Personen im Ereignisfall für das Szenario j
$p(rA)_j$:	Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Szenarios j
$p(pr)_i$:	Präsenzwahrscheinlichkeit einer Person i
ε_i :	Objektschutzfaktor von Gebäude i in Abhängigkeit des Prozesses und der Intensität. Der Wert liegt zwischen 0 und 1. Der Wert 1 bedeutet, dass das Gebäude zu 100% geschützt ist und kein Schaden zu erwarten ist.
$\lambda_{i,j}$:	Letalität einer Person in einem Gebäude i und dem Szenario j. Der Wert liegt zwischen 0 und 1 und entspricht der Sterbewahrscheinlichkeit.

Und das individuelle Personenrisiko pro Szenario:

$$r_{i,j,ind} = p_j \times A(PG)_{j,ind}$$

$$p_j = P_j - P_{j+1} \text{ und } P_j = \frac{1}{j}$$

$r_{i,j,ind}$:	Individuelles Personenrisiko im Gebäude i und dem Szenario j
p_j :	Häufigkeit des Szenarios j
P_j :	Wahrscheinlichkeit des Szenarios j

ergibt das individuelle Personenrisiko:

$$r_{i,ind} = \sum_j r_{i,j,ind}$$

Das kollektive Schadenausmass für Personen ergibt gemäss Bründl et al. [6] pro Szenario:

$$A(PG)_{j,koll} = p(rA)_j \times p(pr)_i \times (1 - \varepsilon_i) \times \lambda_{i,j} \times N(P)$$

$A(PG)_{j,koll}$:	Kollektives Schadenausmass Personen im Ereignisfall für das Szenario j
$p(rA)_j$:	Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Szenarios j
$p(pr)_i$:	Präsenzwahrscheinlichkeit einer Person i
ε_i :	Objektschutzfaktor von Gebäude i in Abhängigkeit des Prozesses und der Intensität. Der Wert liegt zwischen 0 und 1. Der Wert 1 bedeutet, dass das Gebäude zu 100% geschützt ist und kein Schaden zu erwarten ist.
$\lambda_{i,j}$:	Letalität einer Person in einem Gebäude i und dem Szenario j. Der Wert liegt zwischen 0 und 1. Der Wert 1 bedeutet, dass bezogen auf eine Person mit einem Todesfall zu rechnen ist.
$N(P)_i$:	Anzahl durchschnittlich anwesender Personen in einem Gebäude i

Und das kollektive Risiko pro Wiederkehrperiode:

$$r_{i,j,koll} = p_j \times A(PG)_{j,koll}$$

$$p_j = P_j - P_{j+1} \text{ und } P_j = \frac{1}{j}$$

$r_{i,j,koll}$:	Kollektives Personenrisiko im Gebäude i und dem Szenario j
p_j :	Häufigkeit des Szenarios j
P_j :	Wahrscheinlichkeit des Szenarios j

Das kollektive Personenrisiko aufsummiert nach den Szenarien:

$$r_{i,koll} = \sum_j r_{i,j,koll}$$

In der Publikation vom BUWAL wird die Berechnung mit der Evakuationswahrscheinlichkeit ergänzt (Abbildung 5, [10]). Die Evakuationswahrscheinlichkeit p_{EK} wird definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass die Personen vor Eintreffen der Gefahr aus dem Gebäude evakuiert werden. Sie hängt ab von [10]:

- Der Vorwarnzeit
- Der Evakuationszeit: Zeit welche für die Evakuation nötig ist.
- Dem Vertrautheitsgrad: wie vertraut sind die Notfallorganisationen und die zu evakuierenden Personen mit der Gefahrensituation

Die Evakuationswahrscheinlichkeit beeinflusst die Schadenhäufigkeit zusammen mit der Eintretenshäufigkeit, der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit und der zeitlichen Koinzidenzwahrscheinlichkeit (entspricht der Präsenzwahrscheinlichkeit gemäss Bründl et al. [6]).

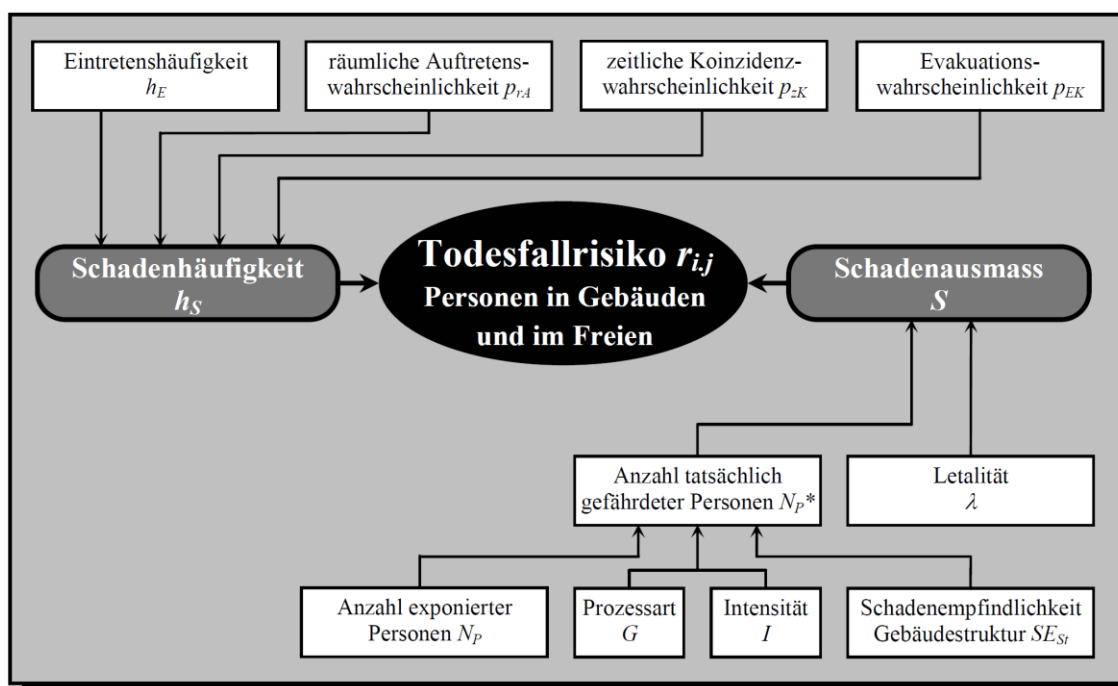


Abbildung 5: Das Todesfallrisiko berücksichtigt die Evakuationswahrscheinlichkeit, diese beeinflusst die Schadenhäufigkeit [10].

Das Schadenausmass wird aufgrund der Anzahl der tatsächlich gefährdeten Personen und der Letalität errechnet. Im Schadenausmass wird die Schutzwirkung des Gebäudes berücksichtigt; die Personenanzahl im Gebäude wird mit dessen Schadenempfindlichkeit multipliziert.

Konkrete Letalitätswerte finden man in der Studie vom BUWAL [11], die Zahlen basieren auf Erfahrungswerten aus bisherigen Ereignissen und Schätzungen (siehe Anhang im Kapitel 9). Auch im Leitfaden ‚Risikokzept für Naturgefahren‘ [6] wird die Schutzwirkung des Gebäudes berücksichtigt. Dies erfolgt durch die Multiplikation der Letalität mit der Schadensempfindlichkeit des entsprechenden Objektes. Das Produkt wird ‚effektive Letalität‘ genannt. Die Werte für die Schadensempfindlichkeit und die Letalität werden den

Objektparametertabellen von EconoMe entnommen [8]. Für die statische und dynamische Überschwemmung werden effektive Letalitäten vorgeschlagen (siehe Anhang im Kapitel 9). Die Unterscheidung in statische oder dynamische Überschwemmung kann im Handbuch zu EconoMe nachgelesen werden [9]. Die Letalitätswerte werden laufend angepasst und auf den neuesten Stand gebracht – sie entsprechen dennoch einer „best practice“, denn das Ziel von EconoMe ist eine schweizweite Vergleichbarkeit verschiedener Schutzbauprojekte.

Die Letalitäten aus EconoMe und BUWAL [8], [11] sind vereinfachte Werte und genügen, um eine Vergleichbarkeit herzustellen. Braucht man jedoch für ein Einzelobjekt Letalitätswerte, so sind diese sehr schwierig festzustellen, da Todesfälle wenig auftreten und in der Regel lückenhaft dokumentiert sind. Entsprechend findet man in der Literatur kaum Werte. Eine Ausnahme bildet dazu die Publikation von Jonkman et al. [20]. Gemäss Egli [14] muss bei einer detaillierten Betrachtung nach folgenden Faktoren unterschieden werden:

- Bei Personen mit eingeschränkter Mobilität, Kindern, Kranken ist die Letalität besonders hoch.
- Die Personen können durch ihr Verhalten die Verletzlichkeit entscheidend beeinflussen.
- Personenschäden hängen ab von der Einwirkung des Wassers (Fliesstiefe und -geschwindigkeit), der Geschwindigkeit, mit welcher die Einwirkung auftritt und der möglichen Vorwarnung.

Diese Detaillierung findet man ansatzweise im Technical Memorandum für die Ausbreitung einer Flutwelle aufgrund eines Dammbruchs [1]: Der Autor unterscheidet folgende Szenarien: Personengefährdung in Gebäude mit Foundation, Personengefährdung in Campingwagen oder in Personenwagen, Personengefährdung im Freien für Erwachsene und Kinder. Als Erwachsener gilt eine Person grösser 150 cm und schwerer als 54 kg. Der Autor unterscheidet drei Zonen mit unterschiedlicher Personengefährdung, abhängig von der Fliessgeschwindigkeit und Fliesstiefe:

Low danger zone: Es ist keine Personengefährdung anzunehmen

Judgement zone: Unsicherer Bereich, bedarf einer Einschätzung des Untersuchers.

High danger zone: Es ist anzunehmen, dass Personen gefährdet sind.

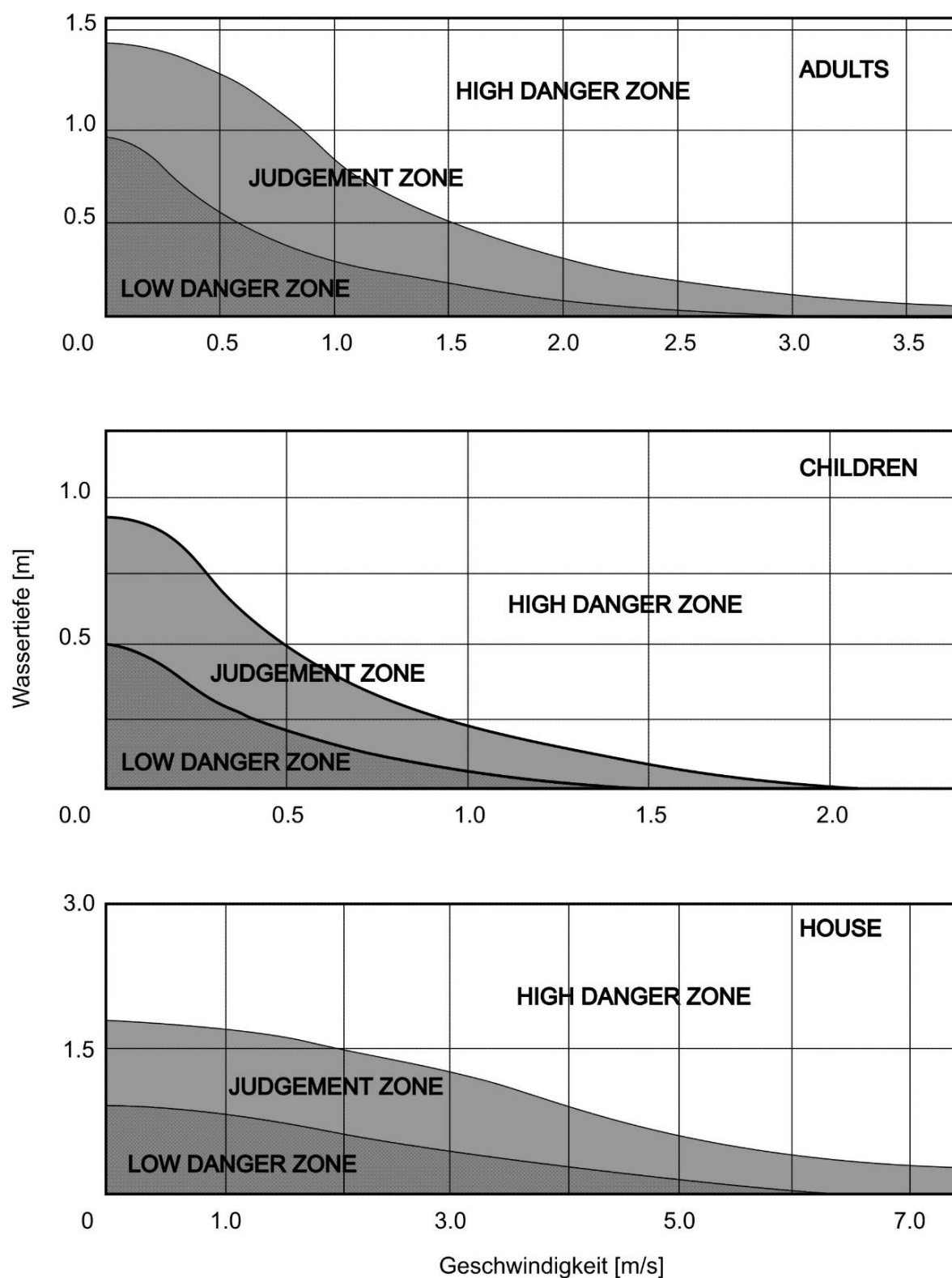


Abbildung 6: Die Gefahrenklassen für Erwachsene, Kinder und Personen im Gebäude abhängig von der Wassertiefe und der Geschwindigkeit [1].

Die Bundesempfehlungen zur Gefahrenkartierung zur Überschwemmung unterscheidet ebenfalls drei Intensitätsstufen [22]. Die Stufen werden nach Überschwemmungshöhe (Wassertiefe) und Fließgeschwindigkeit klassiert. Die drei Stufen sind:

Starke Intensität:

Menschen und Tiere sind auch innerhalb von Gebäuden gefährdet; mit erheblichen Schäden an Gebäuden bis zu plötzlichen Gebäudezerstörungen ist zu rechnen.

Die starke Intensität gilt bei einer Überschwemmungshöhe grösser 2 m oder Überschwemmungshöhe x Fliessgeschwindigkeit grösser 2 m²/s.

Mittlere Intensität:

Menschen und Tiere sind ausserhalb von Gebäuden stark, innerhalb von Gebäuden jedoch kaum gefährdet; mit Schäden an Gebäuden ist zu rechnen.

Die mittlere Intensität gilt bei einer Überschwemmungshöhe ab 0.5 m bis maximal 2 m oder Überschwemmungshöhe x Fliessgeschwindigkeit ab 0.5 m²/s bis 2 m²/s.

Schwache Intensität:

Menschen und Tiere sind innerhalb und ausserhalb von Gebäuden kaum gefährdet; mit Sachschäden in Gebäuden (beispielsweise Kellerräumen) muss gerechnet werden.

Die schwache Intensität gilt bei einer Überschwemmungshöhe kleiner 0.5 m oder Überschwemmungshöhe x Fliessgeschwindigkeit kleiner 0.5 m²/s.

Evakuierung

Ein wichtiger Bestandteil der Evakuierung ist der Fluchtweg; dieser ermöglicht die Flucht weg von der Gefahr zu einem sicheren Ort. Die Gefahren in einem Gebäude sind vielfältig [4]:

- Brand
- Explosionsgefahr
- Stofffreisetzungen (giftige, ätzende oder brennbare Stoffe, Radioaktivität, biologische Stoffe)
- Energieausfall (Strom, Druckluft und Wasser)
- ausser Kontrolle geratene Reaktionen (Bersten von Behältern, Änderung der Temperatur)
- Naturkatastrophen (Hochwasser, Sturm, Unwetter, Erdbeben und Lawinen)
- Androhung von Gewalt (Bombendrohung, Sabotage, Brandlegung)

Der Fluchtweg unterscheidet sich nach der Gefahr – in der Regel ist der sichere Ort ausserhalb des Gebäudes. Das heisst, der Fluchtweg muss die Personen schnell aus dem Gebäude führen. Bei Naturgefahren muss der Fluchtweg differenziert werden, da die Gefahrenquelle nicht in direktem Zusammenhang mit dem Gebäude oder zugehöriger Anlageteile sind. Der Ursprung der Naturgefahren kommt von Aussen und häufig ist das Gebäude der sichere Ort. Ausnahmen sind dabei tektonische Naturgefahren wie Erdbeben. Auch im Fall einer Überschwemmung macht es Sinn den Fluchtweg anzupassen. Denn die Gebäudeteile unterhalb der Wasserkote stellen für den Menschen den Gefahrenbereich dar. Der Aufenthalt ausserhalb des Gebäudes kann sicherer sein als im Gebäude, dies muss aber nicht Apriori der Fall sein, wie beispielsweise bei sehr hohen Wassertiefen, hohen Fliessgeschwindigkeiten oder bei Geschiebeverfrachtungen und Schwemmmaterialtransport. In einem solchen Fall ist es sinnvoll, Personen in höhere Gebäudeteile zu verschieben (interne Personenverschiebung).

Daher ist es unabdingbar im Rahmen des Evakuationskonzepts, anfangs die Gefährdungen zu bestimmen und entsprechend die Evakuation auf diese Gefährdungen auszurichten. Ob eine Gefahr durch eine Überschwemmung vorliegt, kann aufgrund der bestehenden Gefahrenbeurteilung für Naturgefahren oder aufgrund der Flutwellenausbreitung bei Stauanlagen bestimmt werden. Ist das der Fall, muss die Einwirkung genauer bestimmt werden – konkret geht es um Fragen zur Wassertiefe, Fliessgeschwindigkeit, Geschiebe, Schwemmmaterial der Überschwemmung. Mit diesen Informationen kann ein Evakuationskonzept erarbeitet werden, welches auch im Fall eines Hochwassers wirksam ist.

Aufgrund der unterschiedlichen Gefährdungen sind möglicherweise mehrere, verschiedene Fluchtwege nötig. Die verschiedenen Fluchtwege können mit dynamischen Kennzeichnungen aktiviert werden. Dazu sind Leitsysteme nötig. Die Alarmierung kann durch die Einsatzleitung ausgelöst werden oder automatisch durch die Brandmeldeanlage oder Wassermeldeanlage provoziert werden. Mit der Alarmierung wird der entsprechende Fluchtweg aus den betroffenen Bereichen angezeigt.

5.2.3 Personenrisiko

Die entscheidenden Faktoren welche die Letalität in einem Gebäude beeinflussen sind gemäss der Literaturrecherche folgende:

Person: Die Letalität hängt stark vom Alter und dem Mobilitätsvermögen der Person ab. Es bestehen grosse Unterschiede zwischen Erwachsenen, Kinder und immobilen Personen (Kranke und Alte).

Ein entscheidender Faktor ist auch das Verhalten der Person in einer solchen Notsituation.

Wassertiefe: Die Wassertiefe bezieht sich auf den Wasserstand im Gebäude und hängt ab vom Geschoss. Beispiel: Das Wasser fliesst über die Eingangstüren und die Lichtschächte in das Gebäude und sammelt sich im 2. Untergeschoss. Dieses ist in der Folge vollständig eingestaut (Wassertiefe ist gleich Raumhöhe). Das 1. Untergeschoss steht 0.5 m unter Wasser (Wassertiefe gleich 0.5). Im Erdgeschoss ist die Wassertiefe mit 0.1 m gering und entspricht der Überschwemmungshöhe ausserhalb des Gebäudes.

Anstieg der Wassertiefe: Der Anstieg der Wassertiefe beschreibt die Geschwindigkeit, wie schnell das Wasser in den Räumlichkeiten oder einem Geschoss ansteigt und die Wassertiefe erreicht wird. Die Anstiegsgeschwindigkeit und die Früherkennung entscheiden über die Zeit, welche für die Flucht verbleibt und möglicherweise auch über den Fluchtweg. Diese Geschwindigkeit hängt ab vom Zufluss und dem Abfluss in einem Raum oder Geschoss und von dessen Volumen. Kleine Räume ohne oder nur mit einem geringen Abfluss haben eine besonders hohe Anstiegsgeschwindigkeit.

Früherkennung: Kann der Wassereintritt nicht frühzeitig erkannt werden, so sinkt die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Flucht deutlich. Die Früherkennung kann durch ein Warnsystem mit Alarmierung erfolgen. Oder situationsbedingt kann der Wassereintritt einsehbar sein, beispielsweise bei einer eingestauten Fensterfront im Untergeschoss.

Fluchtweg: In der Regel gibt es keinen bezeichneten Fluchtweg im Fall eines Hochwassers. Die Fluchtwege sind auf den Brandfall geplant und können ungünstige Folgen haben – beispielsweise wenn der Wasserzufluss dem bezeichneten Fluchtweg entspricht.

Aus der Einwirkung ausserhalb des Gebäudes kann nicht auf die Letalität im Gebäude geschlossen werden. Die Einwirkung steuert die Wassermenge und Anstiegsgeschwindigkeit - gibt jedoch keine Auskunft über die Verhältnisse im Gebäude. So kann beispielsweise eine dynamische Überschwemmung mit einer Wassertiefe von 0.2 m und einer Fliessgeschwindigkeit von 2 m/s (ergibt eine schwache Intensität [22]) zu prekären Verhältnissen im Gebäude führen.

In der Folge wird in den Tabelle 5 bis Tabelle 7 ein Vorschlag zur Berechnung der Letalität aufgrund der oben genannten Einflussgrössen gemacht. Die eingesetzten Faktoren stützen sich nicht auf eine Datenbasis ab, sondern sind Vorschläge, welche aufgrund der Ereignisbetrachtung und des Literaturstudiums zustande kamen. Diese müssen situationsweise betrachtet und angepasst werden.

Die drei Tabellen widerspiegeln die drei Personengruppen Erwachsene, Kinder und immobile Personen (Kranke, Alte), welche auf eine externe Hilfe angewiesen sind. Für die Tabellen gelten folgende Randbedingungen:

- Das Verhalten einer erwachsenen Person entspricht der optimalsten Entscheidung um sich aus ihrer Not zu befreien. Das Verhalten und Können (Schwimmkenntnisse) des Kindes entspricht seinem Alter. Bei Personen, welche auf Hilfe angewiesen sind, wird keine Eigeninitiative vorausgesetzt.
- Die vorgeschlagenen Werte für die Wassertiefe gelten für Geschosse unterhalb der Hochwasserkote. In der Schweiz sind das in der Regel die Untergeschosse und in geringem Masse auch die Erdgeschosse. Es wird angenommen, dass die Fliessgeschwindigkeit im Gebäude Null ist, es handelt sich um einen statischen Einstau. Diese Annahme trifft nicht zu falls innerhalb des Gebäudes Höhendifferenzen bestehen, wie beispielsweise in Treppenhäusern. Oder falls sich die Räumlichkeiten nicht gleichmässig einstauen und sich daraus unterschiedliche Wassertiefen ergeben.
- Der Anstieg der Wassertiefen wird in den Tabellen wie folgt klassiert: langsamer Anstieg der Wassertiefe (0 - 0.05 m/min), rascher Anstieg (0.06– 0.2 m/min) und sehr rascher Anstieg (> 0.2 m/min).
- Die in der Tabelle gestellte Frage nach der Früherkennung wird bejaht, wenn angenommen werden kann, dass genügend Zeit zum Verlassen des Raumes verbleibt.
- Wird die Frage nach dem Fluchtweg bejaht, so kann die Person vor der Gefährdung flüchten. Das heisst beispielsweise, dass die Türen sich auch öffnen lassen und nicht mit dem Wasserdruck angepresst werden.

Der Letalitätswert wird aufgrund der Multiplikation der Faktoren berechnet, siehe folgende Beispiele:

Eine erwachsene Person, mobil und 1.7 m gross, befindet sich im dritten Untergeschoss mit einer geschätzten Wassertiefe bis zur Raumhöhe, das heisst der Raum wird vollständig eingestaut. Die Wassertiefe wird sehr rasch erreicht und der Wassereintritt bleibt weitgehend

unerkannt. Es besteht kein Fluchtweg welcher auf Wassereintritt geprüft wurde. Die Multiplikation der Faktoren ergibt eine Letalität von

$$0.4 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.4$$

Erwachsener			
Wassertiefe [m]	0.5 bis 1.2	1. 2 bis 2.0	2.0 bis Raumhöhe
<i>Faktor</i>	<i>0.1</i>	<i>0.3</i>	<i>0.4</i>
Anstieg der Wassertiefe	Langsam	Rasch	Sehr rasch
<i>Faktor</i>	<i>0.01</i>	<i>0.5</i>	<i>1</i>
Früherkennung	Ja		Nein
<i>Faktor</i>	<i>0.01</i>		<i>1</i>
Fluchtweg Wasser	Ja		Nein
<i>Faktor</i>	<i>0.01</i>		<i>1</i>

Tabelle 5: Berechnung des Letalitätsfaktors einer erwachsenen Person

Ein Schulkind, 1.5 m gross, befindet sich im ersten Untergeschoss mit einer geschätzten Wassertiefe von 1.3 m, welche rasch erreicht wird. Der Wassereintritt kann frühzeitig erkannt werden, da das Wasser an der Fensterfront einstaut. Der Fluchtweg wurde nicht auf Hochwasser geprüft. Die Multiplikation der Faktoren ergibt eine Letalität von

$$0.4 \times 1 \times 0.01 \times 1 = 0.004.$$

Kind			
Wassertiefe [m]	0.2 bis zur (Körpergrösse minus 0.5)		(Körpergrösse minus 0.5 m) - Raumhöhe
<i>Faktor</i>	0.2		0.4
Anstieg der Wassertiefe	Langsam	Rasch	Sehr rasch
<i>Faktor</i>	0.01	1	2
Früherkennung	Ja		Nein
<i>Faktor</i>	0.01		1
Fluchtweg Wasser	Ja		Nein
<i>Faktor</i>	0.01		1

Tabelle 6: Berechnung des Letalitätsfaktors eines Kindes

Ein Altersheim steht im Überflutungsbereich einer Stauanlage. Im Erdgeschoss befindet sich der Restaurationsbetrieb, welcher bei einem Ereignis sehr rasch mit 0.5 m Wasser eingestaut wird. Die sitzenden Bewohner haben ihre Kopfposition auf 1.2 m. Die Bevölkerung wird alarmiert und eine Notfallplanung besteht, im Gebäude sind aber die Fluchtwege nicht auf dieses Szenario ausgelegt. Es ergibt sich folgende Letalität $0.2 \times 2 \times 0.01 \times 1 = 0.004$.

Person immobil			
Wassertiefe [m]	0.2 bis zur (Kopfposition minus 0.5)		(Kopfposition minus 0.5 m) - Raumhöhe
<i>Faktor</i>	0.2		0.4
Anstieg der Wassertiefe	Langsam	Rasch	Sehr rasch
<i>Faktor</i>	0.01	1	2
Früherkennung	Ja		Nein
<i>Faktor</i>	0.01		1
Fluchtweg Wasser	Ja		Nein
<i>Faktor</i>	0.01		1

Tabelle 7: Berechnung des Letalitätsfaktors einer immobilen Person

6 Kein Fallbeispiel

7 Diskussion

Die Darstellung der Zuverlässigkeit als Fehlerbaum ist eine vielverwendete Methode und geeignet für die Darstellung der Versagenswahrscheinlichkeit von technischen Systemen. Problematisch wird es, wenn Menschen eine entscheidende Rolle spielen, wie es beim Einsatz von mobilen Objektschutzmassnahmen der Fall ist. Denn bei der Fehlerbaumanalyse geht man davon aus, dass die Ereignisse voneinander unabhängig sind. Das ist nur bedingt der Fall beim human factor. So ist beispielsweise anzunehmen, dass unter Zeitdruck nicht nur die Wahrscheinlichkeit für einen fehlerhaften Aufbau zunimmt, sondern auch mögliche Transportschäden eher eintreten. Der Zeitdruck beeinflusst somit den erfolgreichen Aufbau in mehrfacher Weise. Ähnliche Probleme konnte Bründl et al. bei der Zuverlässigkeitsanalyse zum Lawinenwarnsystem feststellen [6].

Auf einen besonderen Punkt bei der Berechnung des Objektschutzfaktors muss noch hingewiesen werden. Der Objektschutzfaktor gilt für das ganze Gebäude, welches in der Regel von mehreren Objektschutzmassnahmen geschützt wird. Im Fehlerbaum wurde eine ODER – Verbindung zwischen den verschiedenen Schutzmassnahmen angenommen und so durch Addition der Versagenswahrscheinlichkeiten eine Zuverlässigkeit für die Variante Dammbalken bzw. Klappschott ermittelt. Das war beim Fallbeispiel kein Problem, da die Schutzmassnahmen soweit unabhängig waren. Dies muss aber nicht unbedingt der Fall sein. Wäre beispielsweise bei der Variante Dammbalken eine weitere Schutzmassnahme auf die Alarmierung angewiesen, so würde ein common cause failure (ccf) vorliegen. Der Fehlerbaum liefert in einem solchen Fall keine verlässlichen Aussagen. Abhilfe schaffen würde die Modellierung mit Bayes'sche Netze, bei diesen gibt es keine Probleme mit common cause failure (ccf).

In der Literatur findet man kaum Angaben zu der Zuverlässigkeit von Objektschutzmassnahmen, der Grund liegt in der fallspezifischen Betrachtung. Jeder Einsatz von mobilen Objektschutzmassnahmen unterscheidet sich stark. Das in dieser Arbeit gewählte Fallbeispiel zeigt dies deutlich. Die Risikoreduktion für die Einwirkung Hochwasser ist sehr hoch. Die Gründe dafür liegen auf der Hand: Einerseits haben wir eine eigens installierte Alarmierung und ein 24-Stunden-Pikettdienst. Dazu werden die Schutzmassnahmen von der Feuerwehr fachgerecht eingesetzt. Beim Hausbesitzer ohne entsprechend gute Voraussetzung liegt die Versagensrate im Bereich von 20 bis 50% [18].

Auf der anderen Seite darf man die getroffenen Versagenswahrscheinlichkeiten getrost hinterfragen. Die in den Tabellen getroffenen Werte für die Basisereignisse sind Annahmen und stützen sich nicht auf eine Messung. Da kaum Literatur vorhanden ist, sind diese einfache Schätzungen. Um bessere Werte für die Basisereignisse zu erhalten, könnte man eine Monte Carlo Analyse durchführen oder eine Parameterstudie an Hand von Szenarien durchführen. Im Bereich der Versagenswahrscheinlichkeit betreffend Alarmierung gibt es diverse Arbeiten oder für die Fehlerwahrscheinlichkeit beim Menschen [12], [27], [28]. Eine

Problematik stellt dabei die Bezugszeit dar – bei technischen Geräten spricht man von der Versagenswahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit (z. B. pro Tag), menschliche Fehlmanipulationen werden aber auf die Handlung bezogen. Als einfache Annäherung wurde im Fallbeispiel ein Ereignis pro Jahr angenommen. Das Ereignis setzt sich nicht nur aus den effektiven Hochwasserereignissen zusammen, sondern auch aus Falschalarmierungen, welche ebenfalls eine Intervention auslösen.

Die kurze Literaturrecherche hat gezeigt, dass es kaum Angaben zur Letalität in einem Gebäude bei Hochwasser gibt. Die zitierten Letalitätswerte ([8][10][11][1]) beziehen sich immer auf die Wassereinwirkung ausserhalb des Gebäudes und berücksichtigen nicht die Verhältnisse im Gebäude oder die Verletzlichkeit der Personen (Erwachsene, Kinder, Alte und Kranke). Der im Rahmen dieser Arbeit gemachte Vorschlag berücksichtigt sowohl die Person als auch gebäudespezifische Eigenschaften. Möglicherweise macht es Sinn, diese beiden Elemente (Personen und Gebäude) stärker zu trennen und nicht als ein Faktor (als Letalität) auszudrücken. Auch bei diesem Ansatz müssen die gewählten Faktoren für die Bestimmung der Letalität hinterfragt werden und sollen bei einem besseren Wissensstand angepasst werden.

8 Literaturverzeichnis

- [1] ACER Technical Memorandum No. 11 (1988): Downstream hazard classification guidelines. Assistant Commissioner - Engineering and Research (ACER), Denver, Colorado. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- [2] Andres N., Badoux A., Hegg C. (2014): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2013. Rutschungen, Murgänge, Hochwasser und Sturzereignisse. In: Wasser Energie Luft – 106. Jahrgang, 2014, Heft 1, Seite 59 – 66.
- [3] Andres N., Badoux A., Hegg C. (2015): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2014. Rutschungen, Murgänge, Hochwasser und Sturzereignisse. In: Wasser Energie Luft – 107. Jahrgang, 2014, Heft 1, Seite 47 – 54.
- [4] Beutel (2007): Entwicklung und Einführung eines Evakuierungskonzepts für ein Unternehmen der metallverarbeitenden Industrie. Masterarbeit, gekürzte Fassung. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- [5] Bründl M., Spichtig S. (2008): Verletzlichkeit bei gravitativen Naturgefahren - eine Situationsanalyse. Projekt B 5, Schlussbericht. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- [6] Bründl M. (Ed.) (2009): Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden. Projekt A 1.1, Schlussbericht 2. Phase, Testversion. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- [7] Bründl M., Heli B. (2011): Reliability analysis of the Swiss avalanche warning system. In: M. Faber, K. Köhler and K. Nishijama (Editors), Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering. CRC Press, London, pp. 881-887.
- [8] Bundesamt für Umwelt, BAFU (2015): EconoMe 3.0 Objektparameter, Stand 07.10.2015.
- [9] Bundesamt für Umwelt, BAFU (2015): EconoMe 3.0. Online-Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirkung und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Handbuch. April 2015.
- [10] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL (1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Methode. Umwelt-Materialien Nr. 107/I. Bern.
- [11] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL (1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Fallbeispiele und Daten. Umwelt-Materialien Nr. 107/II. Bern.
- [12] BWK-Merkblatt 3.2 (2005): Mobile Hochwasserschutzsysteme – WP 3: Risiko – Paket 2 – Vorentwurf. Unveröffentlicht.

-
- [13] BWK-Arbeitsgruppe (2005): Mobile Hochwasserschutzsysteme. Grundlage für Planung und Einsatz. Merkblatt 6/BWK.
- [14] Egli (2002): Hochwasservorsorge. Maßnahmen und ihre Wirksamkeit. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR).
- [15] Egli (2004): Mobiler Hochwasserschutz, Systeme für den Notfall. Entscheidungshilfe. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Bern. Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Biel.
- [16] Egli (2005): Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren, Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF, Bern.
- [17] Egli (2010): Kantonale Notrufzentrale St. Gallen. Objektschutzmassnahmen Wasser. Im Auftrag des Baudepartementes des Kantons St. Gallen, Hochbauamt St. Gallen.
- [18] Fachkommission Technischer Elementarschutz FTE (2012): Bewertung der Erstellungssicherheit von temporären Objektschutzmassnahmen. Themenblatt 1-1. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, 13. Dezember 2012, Bern.
- [19] Hilker N., Badoux A., Hegg C. (2010): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2009. In: Wasser Energie Luft – 102. Jahrgang, 2010, Heft 1, Seite 1 – 6.
- [20] Jonkman S., Kelman I. (2005): An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. Disasters, 2005, 29(1): 75 – 97.
- [21] Leiter A., Rheinberger C., Bründl M. (2013): Zur Bewertung von Personenschäden - Grundsätze, Methoden und Anwendungen. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, 77(172): 136-144.
- [22] Loat R., Petrascheck A. (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen 1997. Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Biel 1997, pdf 2001.
- [23] Naturgefahrenkommission des Kantons St. Gallen (2007): Naturgefahren im Kanton St. Gallen. Leitfaden für Vorsorge und Schutz. Tiefbauamt des Kantons St. Gallen.
- [24] Naturgefahrenkommission des Kantons St. Gallen (2008): Naturgefahrenanalyse Steinach. Projektverfasser Bänzinger Partner AG, Oberriet; Basler und Hofmann AG, Esslingen.
- [25] Polzeiticker: www.polzeiticker.ch vom 05.10.2015.
- [26] Romang H., Margreth S. (2007): Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Projekt A 3, Schlussbericht Phase 1. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.

-
- [27] Romang H. (Ed.) (2008): Wirkung von Schutzmassnahmen. Projekt A 3, Schlussbericht Phase 2, Testversion. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- [28] Sättele M., Krautblatter M., Bründl M., Straub, D. (2015): Forecasting rock slope failure: How reliable and effective are warning systems? *Landslides*, 605, doi: 10.1007/s10346-015-0605-2.
- [29] Sättele M., Bründl M., Straub D. (2015): Reliability and effectiveness of early warning systems for natural hazards: Concept and application to debris flow warning. *Reliability Engineering and System Safety* 142 (2015) 192–202.
- [30] St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft (2005): Stauanlage Wenigerweiher - Flutwellenkarte. Egli Engineering AG, St. Gallen; beffa tognacca GmbH, Schwyz. Oktober 2005.
- [31] Tiefbauamt der Stadt St. Gallen (2007): Stauanlage Dreiweiher - Flutwellenkarte. Egli Engineering AG, St. Gallen; beffa tognacca GmbH, Schwyz. Februar 2007.
- [32] Vanomsen P., Egli T. (2008): Untersuchungen zur Verletzlichkeit von Gebäuden und der Wirksamkeit des Objektschutzes. Schadenanalyse Unwetter 2005. Egli Engineering im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern.

9 Anhang

Spezifisches Schadenausmass $S_{sp,P}$ für Personen bei ÜBERSCHWEMMUNGEN								
Objektart	Bezugs- einheit	Spezifisches Schadenausmass $S_{sp,P}$ [Zahl der Todesopfer]			Anzahl exponierter Personen	Letalität (Todesfallwahrscheinlichkeit)		
Besiedlung		schwache Intensität ^{a)}	mittlere Intensität ^{a)}	starke Intensität ^{a)}		schwache Intensität ^{a)}	mittlere Intensität ^{a)}	starke Intensität ^{a)}
Siedlungsfläche allgemein	1a	$2.4 \cdot 10^{-9}$	$2.4 \cdot 10^{-8}$	$2.4 \cdot 10^{-8}$	2.4	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$
Siedlungskern	1a	$50.0 \cdot 10^{-9}$	$50.0 \cdot 10^{-8}$	$50.0 \cdot 10^{-8}$	5.0	$10.0 \cdot 10^{-9}$	$10.0 \cdot 10^{-8}$	$10.0 \cdot 10^{-8}$
Ein-/Zweifamilienhaus	1a	$2.4 \cdot 10^{-9}$	$2.4 \cdot 10^{-8}$	$2.4 \cdot 10^{-8}$	2.4	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$
Mehrfamilienhaus	1a	$4.8 \cdot 10^{-9}$	$4.8 \cdot 10^{-8}$	$4.8 \cdot 10^{-8}$	4.8	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$
Gewerbebaute	1a	$2.0 \cdot 10^{-9}$	$20.0 \cdot 10^{-8}$	$20.0 \cdot 10^{-8}$	2.0	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$10.0 \cdot 10^{-8}$	$10.0 \cdot 10^{-8}$
Industriebaute	1a	$2.0 \cdot 10^{-9}$	$2.0 \cdot 10^{-8}$	$2.0 \cdot 10^{-8}$	2.0	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$
Stall	1a	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	1.0	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$
Remise	1a	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	1.0	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$

Abbildung 7: Schadenausmass für Personen bei Überschwemmung [11]. Das spezifische Schadenausmass ist die Zahl der geschätzten Todesopfer.

Faktoren für Prozess Überschwemmung statisch													
Gebäude	Faktoren			Empfindlichkeit / Intensität						Effektive Letalität / Intensität			
Objektart ID - Objektbezeichnung	Basiswert	Einheit	Ø Belegung	schwach		mittel		stark		schwach		mittel	
14 - Bahnhof	530	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	3e-07	11	9e-06
9 - Einkaufszentrum	540	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	1e-05	11	0.0003
64 - Frei wählbares Gebäude	1	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	3e-07	11	9e-06
4 - Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe)	60000	CHF/Stück	0	11	0.02	11	0.5	11	0.6	11	2e-07	11	5e-05
5 - Hotel - Gästehaus	492	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	3e-07	11	9e-06
6 - Industrie-/Gewerbegebäude	280	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	1e-05	11	0.0003
12 - Kirche	720	CHF/m³	0	11	0.006	11	0.15	11	0.4	11	6e-12	11	1.5e-09
88 - Öffentlicher Parkplatz (Grossparkplatz)	3000	CHF/Stück	0	10	0.5	10	0.8	10	1	10	5e-10	10	0.0008
10 - Schule/Kindergarten	580	CHF/m³	0	11	0.006	11	0.15	11	0.25	11	1.8e-08	11	4.5e-06
3 - Schuppen / Remise	80	CHF/m³	0	11	0.02	11	0.3	11	0.6	11	2e-07	11	3e-05
11 - Spital	850	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	1e-05	11	0.0003
15 - Sportanlage (Gebäude)	370	CHF/m³	0	11	0.006	11	0.3	11	0.4	11	1.8e-08	11	9e-06
2 - Stall (mit Viehbestand)	180	CHF/m³	0	10	0.05	10	0.3	10	0.4	11	5e-07	11	3e-05
63 - Stationsgebäude mechanische Aufstiegshilfe	500	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	3e-07	11	9e-06
1 - Wohneinheit Einfamilienhaus (à 2,24 Personen gemäss BFS)	650000	CHF/Wohneinheit	2.24	11	0.02	11	0.2	11	0.3	11	2e-07	11	2e-05
87 - Wohneinheit Mehrfamilienhaus (à 2,24 Personen gemäss BFS)	550000	CHF/Wohneinheit	2.24	11	0.006	11	0.15	11	0.25	11	1.8e-08	11	4.5e-06
18 - Öffentliche Gebäude	810	CHF/m³	0	11	0.1	11	0.3	11	0.4	11	3e-07	11	9e-06
Sonderobjekte	Faktoren			Empfindlichkeit / Intensität						Effektive Letalität / Intensität			
Objektart ID - Objektbezeichnung	Basiswert	Einheit	Ø Belegung	schwach		mittel		stark		schwach		mittel	
19 - ARA (Klär-/ Abwasserreinigungsanlage)	1	CHF/Stück	0	11	0.01	11	0.2	11	0.3	11	1e-11	11	2e-09
21 - Campingplatz	50000	CHF/Stück	0	11	0.5	11	0.8	11	1	11	5e-10	11	0.0008
89 - Campingplatz (Zeltplatz)	0	CHF/Stück	0	10	0.5	10	0.8	10	1	10	5e-10	10	0.0008
20 - Deponie	1	CHF/Stück	0	11	0.01	11	0.1	11	0.3	11	1e-11	11	1e-09
66 - Frei wählbares Sonderobjekt	1	CHF/Stück	0	11	0.01	11	0.2	11	0.5	11	1e-11	11	2e-09
8 - Kraftwerk	1	CHF/Stück	0	11	0.1	11	0.2	11	0.5	11	1e-10	11	2e-09
54 - Schutzbauwerk	1	CHF/Stück	0	11	0.001	11	0.2	11	0.8	11	0	11	0
65 - Sendeanlage (Funk, TV, usw.)	1	CHF/Stück	0	11	0.01	11	0.2	11	0.3	11	1e-11	11	2e-09
22 - Wasserreservoir	1	CHF/Stück	0	11	0.01	11	0.2	11	0.5	11	1e-11	11	2e-09

Abbildung 8: Die effektive Letalität bei statischer Überschwemmung [8].

Faktoren für Prozess Überschwemmung dynamisch															
Gebäude	Faktoren			Empfindlichkeit / Intensität						Effektive Letalität / Intensität					
Objektart ID - Objektbezeichnung	Basiswert	Einheit	Ø Belegung	schwach		mittel		stark		schwach		mittel		stark	
14 - Bahnhof	530	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
9 - Einkaufszentrum	540	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
64 - Frei wählbares Gebäude	1	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
4 - Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe)	60000	CHF/Stück	0	20	0.3	20	0.55	20	0.85	20	0.00015	20	0.00275	20	0.1275
5 - Hotel - Gästehaus	492	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	3e-06	20	5.25e-05	20	0.00495
6 - Industrie-/Gewerbegebäude	280	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
12 - Kirche	720	CHF/m³	0	20	0.1	20	0.2	20	0.55	20	5e-06	20	0.0001	20	0.0165
88 - Öffentlicher Parkplatz (Grossparkplatz)	3000	CHF/Stück	0	20	0.45	20	0.85	20	1	20	0	20	0.02975	20	0.3
10 - Schule/Kindergarten	580	CHF/m³	0	20	0.1	20	0.2	20	0.5	20	2e-06	20	3e-05	20	0.0045
3 - Schuppen / Remise	80	CHF/m³	0	20	0.2	20	0.35	20	0.85	20	0.0001	20	0.00175	20	0.051
11 - Spital	850	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
15 - Sportanlage (Gebäude)	370	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
2 - Stall (mit Viehbestand)	180	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
63 - Stationsgebäude mechanische Aufstiegshilfe	500	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
1 - Wohneinheit Einfamilienhaus (à 2,24 Personen gemäss BFS)	650000	CHF/Wohneinheit	2.24	20	0.15	20	0.3	20	0.6	20	7.5e-06	20	0.00015	20	0.018
87 - Wohneinheit Mehrfamilienhaus (à 2,24 Personen gemäss BFS)	550000	CHF/Wohneinheit	2.24	20	0.1	20	0.25	20	0.6	20	2e-06	20	3.75e-05	20	0.0054
18 - Öffentliche Gebäude	810	CHF/m³	0	20	0.15	20	0.35	20	0.55	20	7.5e-06	20	0.000175	20	0.0165
Sonderobjekte	Faktoren			Empfindlichkeit / Intensität						Effektive Letalität / Intensität					
Objektart ID - Objektbezeichnung	Basiswert	Einheit	Ø Belegung	schwach		mittel		stark		schwach		mittel		stark	
19 - ARA (Klär-/ Abwasserreinigungsanlage)	1	CHF/Stück	0	20	0.15	20	0.25	20	0.75	20	0	20	0.000125	20	0.0225
21 - Campingplatz	50000	CHF/Stück	0	20	0.45	20	0.85	20	1	20	0	20	0.02975	20	0.3
89 - Campingplatz (Zeltplatz)	0	CHF/Stück	0	20	0.45	20	0.85	20	1	20	0	20	0.02975	20	0.3
20 - Deponie	1	CHF/Stück	0	20	0.1	20	0.15	20	0.45	20	0	20	7.5e-05	20	0.0135
66 - Frei wählbares Sonderobjekt	1	CHF/Stück	0	20	0.15	20	0.3	20	0.85	20	0	20	0.0075	20	0.204
8 - Kraftwerk	1	CHF/Stück	0	20	0.15	20	0.25	20	0.65	20	0	20	1.25e-05	20	0.00195
54 - Schutzbauwerk	1	CHF/Stück	0	20	0.1	20	0.25	20	0.4	20	0	20	0	20	0
65 - Sendeanlage (Funk, TV, usw.)	1	CHF/Stück	0	20	0.15	20	0.3	20	0.75	20	0	20	0.0075	20	0.18
22 - Wasserreservoir	1	CHF/Stück	0	20	0.15	20	0.25	20	0.65	20	0	20	0.00625	20	0.156

Abbildung 9: Die effektive Letalität bei dynamischer Überschwemmung [8].



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Objektschutz bei Hochwasser: Risikobasierte Massnahmenwahl
unter spezieller Berücksichtigung der Zuverlässigkeit der Schutzmassnahmen und des
Personenrisikos

Verfasst von (in Druckschrift):

*Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller
Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.*

Name(n):

Vanomsen

Vorname(n):

Pierre

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Bern, 31.10.2015

Unterschrift(en)

P. Vanomsen

*Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und
Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie
gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.*