

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 108 (2016)
Heft: 3

Artikel: Analyse der physischen Vulnerabilität von Wohngebäuden gegenüber feststoffführenden Überschwemmungen
Autor: Seiler, Martin / Vetsch, David
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939530>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Analyse der physischen Vulnerabilität von Wohngebäuden gegenüber feststoffführenden Überschwemmungen

Martin Seiler, David Vetsch

Zusammenfassung

Aufgrund der sozio-ökonomischen Entwicklung in der jüngeren Vergangenheit sind Schwemmkegel von Gebirgsflüssen in den Alpen zum Teil stark überbaut worden. Das Risiko im Zusammenhang mit feststoffführenden Überschwemmungen steigt aufgrund des so gewachsenen Schadenpotenzials an und wird wesentlich durch die physische Vulnerabilität der Gebäude auf dem Schwemmkegel beeinflusst. Im vorliegenden Beitrag wird die physische Vulnerabilität von Wohngebäuden gegenüber feststoffführenden Überschwemmungen diskutiert. Im Gegensatz zu bis anhin durchgeführten Vulnerabilitätsanalysen wird ein neues Intensitätskriterium sowie ein Klassierungssystem vorgestellt, welche die schadenverursachenden Einwirkungen auf ein Gebäude während einer Überschwemmung besser repräsentieren sollen. Die Analyse wird anhand des Hochwasserereignisses des Baltschiederbachs im Wallis im Jahr 2000 durchgeführt.

1. Einleitung

Natürlich in Gebirgsflüssen ablaufende Prozesse können infolge einer Überschwemmung auf Infrastruktur und Gebäude treffen, was zu Schäden an diesen Risikoelementen führt. Was das im Ereignisfall bedeutet, hat die feststoffführende Überschwemmung in Baltschieder im Jahr 2000 eindrücklich aufgezeigt. Laut Hegg et al. (2002) entstand bei diesem Ereignis ein beträchtlicher finanzieller Schaden von rund 80 Millionen CHF.

Die Höhe der monetären Schäden derartiger Ereignisse wird dabei wesentlich durch die sogenannte physische Vulnerabilität der betroffenen Risikoelemente beeinflusst. Sie beschreibt den Zusammenhang zwischen der Intensität der Prozesseinwirkungen und der Schadenempfindlichkeit eines Objekts, resp. des

Grads an Verlust (eng. «degree of loss»). Die Schadenempfindlichkeit kann dabei als dimensionsloser Quotient des entstandenen, monetären Sachschadens und der Wiederaufbaukosten definiert werden (0 = kein Schaden, 1 = Totalschaden); vgl. Formel 1.

$$\text{Schadenempfindlichkeit } [] = \frac{\text{Sachschaden [CHF]}}{\text{Wiederaufbaukosten [CHF]}}$$

In den letzten zwei Jahrzehnten wurde mehrheitlich versucht, die Schadenempfindlichkeit mithilfe von mathematischen Funktionen oder statistischen Ansätzen mit der Prozessintensität zu verknüpfen. Das Ziel dabei ist es, die physische Vulnerabilität mit einer allgemeinen Formulierung quantitativ zu beschreiben. In österreichischen und italienischen Studien wird die Beziehung zwischen Intensität und Schadenempfindlichkeit durch Funktionen und Vulnerabilitätskurven ausgedrückt (z. B. Totschnig et al., 2011), wobei hauptsächlich die Ablagerungshöhe als Intensitätsproxy resp. Intensitätskriterium, verwendet wird (Bild 1). Hingegen liegt in einigen schweizerischen Studien (z. B.

Borter, 1999, Romang, 2004, Spichtig & Bründl, 2008) der Fokus auf der Bestimmung von statistischen Werten wie Median oder Mittelwert der Schadenempfindlichkeit und einer Zuordnung zu den Intensitätsklassen schwach, mittel und stark.

Für die Beurteilung von Überschwemmungen wird üblicherweise das primär auf menschlicher Gefährdung basierende Klassierungssystem nach Loat und Petraschek (1997) verwendet, wobei die Intensität als schwach, mittel oder stark eingestuft wird. Als Intensitätsproxies werden dabei die Fließgeschwindigkeit und Fliesstiefe verwendet. Diese Proxies widerspiegeln jedoch nicht zwingend die Prozesse am Gebäude, welche für die Schadenentstehung und das Risiko entscheidend sind.

Im vorliegenden Beitrag wird deshalb ein alternatives, schadenbasiertes Intensitätskriterium und Klassierungssystem vorgestellt und im Rahmen einer Fallstudie angewendet. Dabei werden Daten von 20 Wohngebäuden verwendet, welche während der Überschwemmung in Baltschieder im Jahr 2000 betroffenen waren.

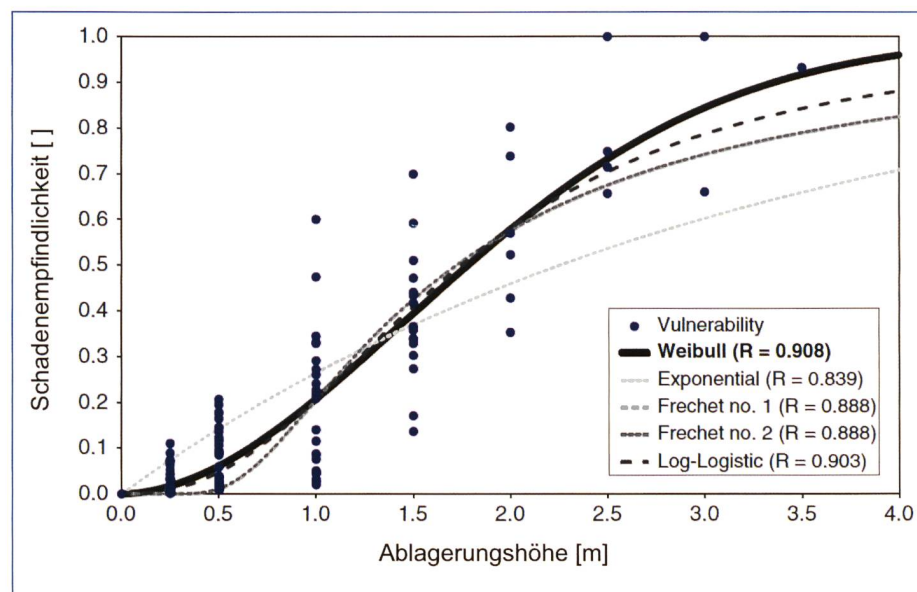


Bild 1. Vulnerabilitätsfunktionen für geschiebeführende Hochwasser, abgeändert nach Totschnig & Fuchs (2013). Die beste Korrelation ergibt sich mit der Weibull-Funktion (durchgezogene Linie).

Das neu entwickelte Intensitätskriterium soll zusammen mit dem Klassierungssystem die physischen Einwirkungen auf ein Gebäude besser abbilden und als Folge davon genauere Vulnerabilitätswerte ermöglichen.

2. Rückblick

Das Dorf Baltschieder liegt im Kanton Wallis in der südlichen Schweiz auf dem Schwemmfächer des Baltschiederbachs auf einer Höhe von rund 645 m ü. M. Der Baltschiederbach wird durch den «Innre und Üssre» Baltschieder-gletscher gespeist und entspringt dort auf einer Meereshöhe von 3000 m ü. M. (Innre Baltschieder-gletscher) beziehungsweise 2700 m ü. M. (Üssre Baltschieder-gletscher). Das Einzugsgebiet ist rund 43 km² gross und weist eine mittlere Höhe von 2280 m ü. M. auf (Nigg et al., 2002).

Vom 10. bis 16. Oktober 2000 stellte sich im Wallis eine Wetterlage mit einem Tief über dem Mittelmeer und anhaltendem Niederschlag ein. Durch diese Süd-staulage wurden während sieben Tagen feuchte Luftmassen vom Süden gegen die Alpen geführt, was erhebliche Niederschlagsmengen auf der Alpensüdseite zur Folge hatte. Die Niederschläge vom 14. und 15. Oktober über den stark gesättigten Böden im Baltschieder-tal führten zu einem starken Anschwellen des Baltschiederbachs bis auf einen Maximalwert im Bereich von 85 bis 105 m³/s (Nigg et al., 2002) mit entsprechendem Feststofftransport. Aufgrund der gefällebedingten Abnahme der Transportkapazität wurde das Gerinne des Baltschiederbachs und ein bereits bestehendes Geschieberückhaltebecken allmählich aufgeschottert, was um 6.30 Uhr am Morgen des 15. Oktobers schliesslich zur Ausuferung im Bereich des Kegelhal-ses beim Dorf Baltschieder führte. Durch das Ereignis wurden in der Folge mehr als 200 Gebäude beschädigt oder zerstört (Turowski et al., 2008) und rund 120 000 m³ Geschiebe im Dorf abgelagert (Jäggi et al., 2004). Dank einer raschen Evakuierung der Bevölkerung durch die örtliche Feuerwehr konnten glücklicherweise alle betroffenen Personen in Sicherheit gebracht werden.

3. Analyse der physikalischen Vulnerabilität und Intensitätskriterium

3.1 Rekonstruktion der Intensitätswerte

Für die Herleitung des schadenbasierten Intensitätskriteriums und Klassierungssystems werden Daten zur Fliesstiefe und

zur Ablagerungshöhe während des gesamten Ereignisverlaufs an den Standorten der untersuchten Gebäude benötigt. Um diese Datengrundlage zu schaffen, wurde die feststoffführende Überschwemmung in Baltschieder ex-post mithilfe eines numerischen Modells simuliert. Aufgrund der vorwiegend fluvialen Vorgänge auf dem Schwemmkegel wurde dazu die Simulationssoftware BASEMENT (Vetsch et al., 2013) verwendet, welche die Simulation von Feststofftransport als Schwebstoff- oder Geschiebefracht erlaubt.

Die auf Fotos (Luftbilder und lokale Aufnahmen) unmittelbar nach dem Ereignis ersichtlichen Ablagerungshöhen wurden anhand von nach wie vor bestehenden Umgebungsmerkmalen bestimmt (Bild 2). Auf diese Weise konnte die lokale Ablagerungshöhe bei 15 Gebäuden rekonstruiert werden. Weiter wurden von der Gemeinde dokumentierte Zonen mit abgelagerten

Geschiebe und Feinanteilen sowie die Koordinaten der Wohngebäude mit einer aufgezeichneten Schadenempfindlichkeit > 0.00 auf einer Karte zusammengefasst (Bild 3). Das numerische Modell wurde schliesslich anhand der räumlichen Verteilung der rekonstruierten Ablagerungshöhen, der Verteilung von Geschiebe- und Feinmaterialablagerungen sowie der Verteilung der Schadenempfindlichkeiten > 0.00 kalibriert und validiert. Im weiteren Verlauf der Vulnerabilitätsanalyse wurden die mit dem validierten Modell simulierten Fliesstiefen und Ablagerungshöhen für die angeströmte Fassadenseite der untersuchten Wohngebäude verwendet.

3.2 Intensitätskriterium und Klassierungssystem

Das Ausmass des Schadens an einem Gebäude und die entsprechende Schadenempfindlichkeit sowie physische Vul-



Bild 2 A. Kalibrierungsfoto eines Wohngebäudes (Fotograf unbekannt). B: Vor dem Ereignis bestehende Treppenlaube als Mass für die Abschätzung der Ablagerungshöhe (Foto Martin Seiler).

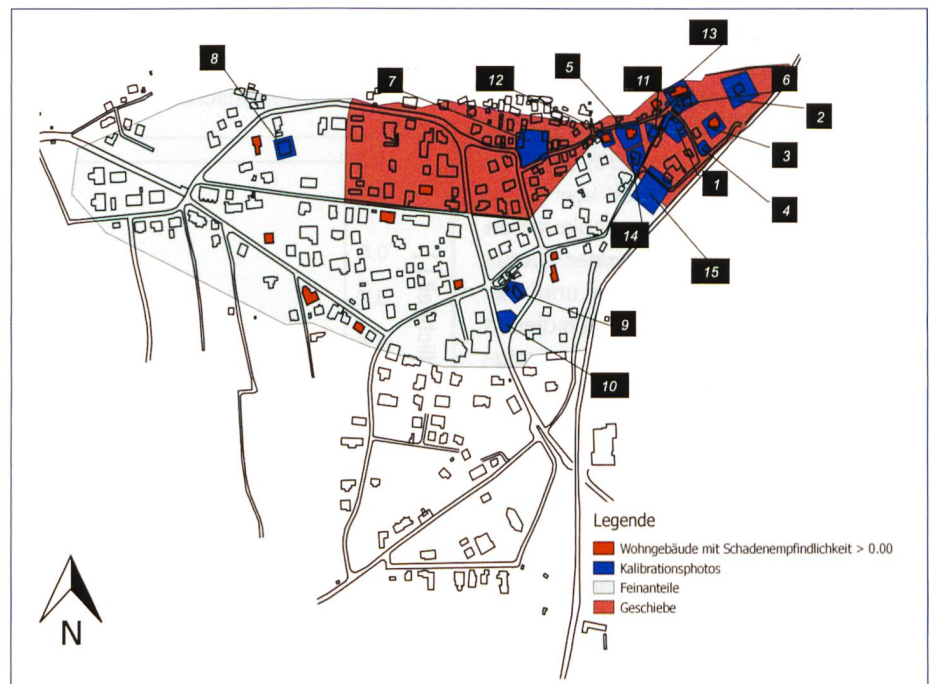


Bild 3. Kartendarstellung der zur Kalibrierung verwendeten Grundlagen: Dokumentierte Verteilung Geschiebe und Feinanteile, Kalibrierungsfotos (blau), Wohngebäude mit Schadenempfindlichkeit > 0.00 (rot). Die verwendeten Kalibrierungsfotos sind durchnummeriert (Quelle: Gemeinde Baltschieder).

nerabilität hängt massgebend davon ab, ob Wasser im Ereignisfall ins Gebäude eindringen kann oder nicht. Sobald Wasser und Feststoffe ins Innere des Gebäudes gelangen, kommt es als Folge von Vernässung und des Schmutzeintrags zu einem sprunghaften Anstieg des Schadens, was sich auch in der Schadenempfindlichkeit und schliesslich in der physischen Vulnerabilität niederschlägt (Holub et al., 2012). Gebäudeöffnungen sind Schwachstellen der Gebäudehülle und spielen somit eine zentrale Rolle bezüglich der physischen Vulnerabilität (Fuchs et al., 2007). Dabei stellen Fenster und insbesondere Fensterscheiben bezüglich ihrer Widerstandsfähigkeit im Vergleich zu Mauerwerk oder Türen das vulnerabelste Glied in der Gebäudehülle dar. Das hier vorgestellte Intensitätskriterium und Klassierungssystem wird deshalb auf die Widerstandsfähigkeit von Fensterscheiben gegenüber den Einwirkungen von feststoffführenden Überschwemmungen abgestimmt.

Feststoffführende Überschwemmungen wirken durch den Strömungsdruck sowie durch die kinetische Energie von anprallenden Feststoffen physisch auf die Gebäudehülle ein. Die beiden Einwirkungsarten sollen im Folgenden kurz zur Herleitung des Intensitätskriteriums diskutiert werden:

3.2.1 Einwirkungen durch den Strömungsdruck

Die Einwirkungen durch den Strömungsdruck setzen sich aus hydrostatischer und hydrodynamischer Beanspruchung zusammen. Bezüglich der Druckfestigkeit von Fensterscheiben geben gewisse Fensterhersteller einen Richtwert von rund 10 kN/m^2 an (Meyer, 2014). Dieser Richtwert wird bei Überschwemmungen als Summe aus der hydrostatischen und hydrodynamischen Beanspruchung re-

lativ schnell erreicht. Ausserdem kommt im Falle einer Aufschotterung über die Fensterunterkante noch zusätzlich der Erddruck des abgelagerten Materials als weitere Einwirkung hinzu. In einer solchen Situation würde also bereits eine geringere hydrodynamische Beanspruchung zur Zerstörung der Fensterscheibe führen. In Anbetracht dieser Überlegungen wird hier davon ausgegangen, dass mit der Zerstörung von Fensterscheiben durch den Strömungsdruck feststoffführender Überschwemmungen zu rechnen ist, sobald der Wasserspiegel die Höhe der Fensterunterkante erreicht.

3.2.2 Einwirkungen durch anprallende Feststoffe

Beim schadenverursachenden Feststoffanprall wird zwischen dem Anprall von Geschiebe und dem Anprall von Schwemmholz unterschieden. Beim Geschiebe-transport ist die Geschwindigkeit der Steine tendenziell kleiner als die mittlere Fließgeschwindigkeit des Wassers und der Transport findet an der Sohle statt. Hingegen kann die Geschwindigkeit von Schwemmholz je nach Beschaffenheit annähernd gleich wie die Fließgeschwindigkeit des Wassers sein und das Holz wird eher an der Wasserspiegeloberfläche transportiert. Das Schwemmholz ist dabei während des Transports nach Lange & Bezzola (2006) meistens in Fließrichtung ausgerichtet. Bei einem Ereignis, bei dem Schwemmholz und Geschiebe transportiert werden, wird das Schwemmholz also im direkten Vergleich tendenziell mit einer höheren Anprallgeschwindigkeit und an der Wasserspiegeloberfläche auf das Gebäude treffen (Bild 4). Aus diesen Gründen wird hier in Bezug auf die massgebende kinetische Einwirkung und zur Definition des Intensitätskriteriums und der Klassengrenzen auf den Anprall durch Schwemmholz eingegangen.

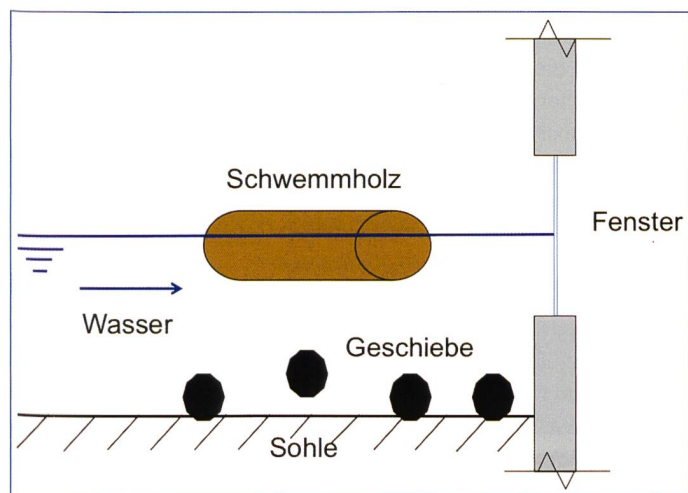


Bild 4. Im Vergleich zum Geschiebe, welches entlang der Sohle transportiert wird, schwimmt Schwemmholz je nach Beschaffenheit an der Wasserspiegeloberfläche.

Die Widerstandsfähigkeit von Fensterscheiben kann mithilfe des Hagelregisters der kantonalen Feuerversicherungen grob abgeschätzt werden. Darin sind Bauelemente unterschiedlicher Hersteller auf die kinetische Energie von anprallenden Hagelkörnern hin geprüft worden. Für typische Fensterscheiben in Wohngebäuden (doppelverglaste Floatglasscheiben mit einer Dicke von 4 mm) ergibt sich ein Widerstand von maximal 27 J. Im Vergleich kann bereits ein Stamm aus europäischer Lärche (weitverbreiteter Baumart in alpinen Einzugsgebieten von Gebirgsflüssen- und Wildbächen, Trockendichte von 550 kg/m^3) mit 1.5 m Länge und 30 cm Durchmesser sowie mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s beim Anprall auf eine Fensterscheibe mit einer kinematischen Energie von bis zu 30 J einwirken. Die dabei angenommene Fließgeschwindigkeit von 1 m/s entspricht der minimalen Fließgeschwindigkeit von dynamischen Überschwemmungen nach Rudolf-Miklau & Suda (2012). Fensterscheiben sind also sehr vulnerabel gegenüber der Einwirkung anprallender Feststoffe, insbesondere Schwemmholz. Bereits bei einer für dynamische Überschwemmungen minimalen Fließgeschwindigkeit von 1 m/s ist mit der Zerstörung von Fenstern durch Schwemmholzanprall zu rechnen.

3.2.3 Schadenbasiertes Intensitätskriterium und Klassierungssystem

Anhand der obigen Überlegungen folgt, dass es für eine Beschädigung der Gebäudehülle durch Wasser oder Feststoffe und somit für die physische Vulnerabilität des Gebäudes zentral ist, ob der Wasserspiegel bei feststoffführenden Überschwemmungen die Fenster als äusserst vulnerable Gebäudeelemente erreicht oder nicht. Die Höhe des Wasserspiegels wird dabei neben der Fliesstiefe auch durch die Lage der Sohle bestimmt, wobei Letztere während eines Ereignisses variieren kann und von der Geschiebeablagerung und -erosion im Verlauf eines Ereignisses abhängt. Ob das Fenster durch die Überschwemmung erreicht und damit womöglich zerstört wird, wird also aus der Summe der Fliesstiefe zu einem bestimmten Zeitpunkt und der zeitgleichen Ablagerungshöhe (Sohlenlage) bestimmt. Der Maximalwert aus der Summe von Fliesstiefe und zeitgleicher Ablagerungshöhe über das gesamte Ereignis an der angeströmten Fassadenseite eines Gebäudes wird deshalb hier als neues, schadenbasiertes Intensitätskriterium eingeführt. Das neue Intensitätskriterium wird in der Folge als

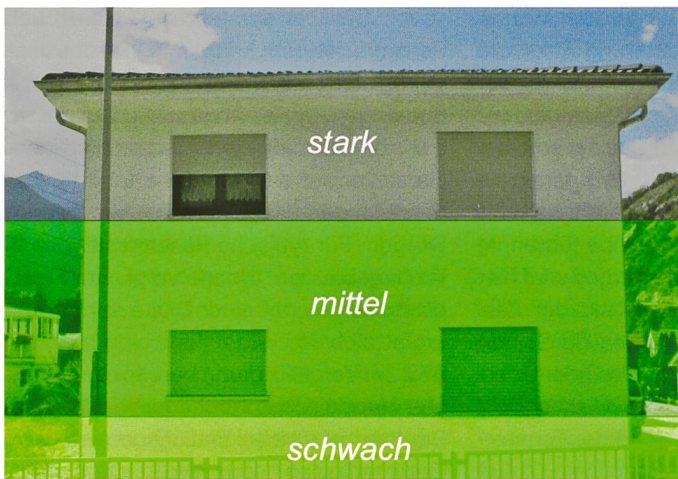


Bild 5. Intensitätskriterium der effektiven Wirkungshöhe, visualisiert an einer Gebäudefassade: schwache Intensität < 1 m (hellgrün), mittlere Intensität > 1 m und < 3.65 m (grün) und starke Intensität > 3.65 m (graugrün) (Foto Matin Seiler).

«effektive Wirkungshöhe» bezeichnet. Zur Bestimmung von statistischen Kennwerten werden hier auf Grundlage der effektiven Wirkungshöhe drei Klassen für die Schadenempfindlichkeit eingeführt: schwach, mittel und stark. Als schwache Intensität wird eine effektive Wirkungshöhe von bis zu 1 m definiert. Dieser Wert wird in der Literatur (z. B. Fuchs et al., 2007, Totschnig et al., 2011, Papathoma-Köhle, 2012) als durchschnittliche Höhe der Fensterunterkante im Erdgeschoss über OK Boden angenommen. Bei Wirkungshöhen kleiner als 1 m wird ein Eindringen von Wasser und Feststoffen über die Fenster ausgeschlossen. Die Klassengrenze zwischen mittlerer und starker Intensität ist ab einer effektiven Wirkungshöhe von 3.65 m angesetzt. Diese Höhe resultiert, wenn zur gesetzlich in der Schweiz vorgeschriebenen Mindestraumhöhe von 2.40 m eine Decke mit einer Stärke von 0.25 m und ein weiterer Meter bis zur Fensterunterkante der oberen Etage addiert werden. Ab einer Wirkungshöhe von 3.65 m werden auch Fenster in der zweiten Etage von Wohngebäuden durch die Überschwemmung erreicht (vgl. Bild 5). Dadurch nehmen der Schaden und somit die Schadenempfindlichkeit entsprechend stark zu. Nach Oberndorfer et al. (2007) ist bei derart hohen Intensitäten von einem Totalschaden des Wohngebäudes auszugehen, da der entstehende Schaden dem monetären Wert des Gebäudes gleichzusetzen ist. Bei der Intensitätsklasse «stark» ist dementsprechend von einem Wert für die Schadenempfindlichkeit auszugehen, der gegen 1 strebt.

3.3 Schadenempfindlichkeit und physische Vulnerabilität

Zur Bestimmung der Schadenempfindlichkeit wurde auf Versicherungsdaten von insgesamt 20 Versicherungspolizen (Stand 2000) von Gebäuden in Baltschie-

der aus dem Portfolio der Mobiliar Versicherungsgesellschaft zurückgegriffen. Die Schadenempfindlichkeit wurde jeweils als Quotient aus dem von Schätzern erhobenen Gebäudewert und der entstandenen Schadenssumme berechnet. Die Schadenssumme für jedes Gebäude bezieht sich auf die von der Mobiliar ausbezahlten Geldwerte für Elementarschäden an Gebäuden. Die Geldwerte umfassen die Reparatur- und Wiederaufbaukosten an der Gebäudehülle (Mauern, Fenster, Putz usw.) und an Wänden, Bodenbelägen im Innern sowie die Entsorgung und Räumung von Feststoffen und beschädigten Gebäudeteilen.

Zur Bestimmung der physischen Vulnerabilität wurde für die untersuchten Gebäude die erhobene Schadenempfindlichkeit mit der lokal berechneten Intensität korreliert. Die Zuordnung eines Gebäudes und seiner Schadenempfindlichkeit zu einer der drei Intensitätsklassen erfolgte dabei, wie in Abschnitt 3.2.3 beschrieben, auf Grundlage der maximalen effektiven Wirkungshöhe in der Mitte der angeströmten Fassade während des Ereignisses (Tabelle 1). Keines der untersuchten Gebäude konnte der Intensitätsklasse «stark» zugeordnet werden.

Mit den Schadenempfindlichkeiten einer jeden Klasse sind schliesslich für jede Intensität (schwach, mittel, stark) die statistischen Kennwerte der physischen Vulnerabilität Mittelwert, Median, Maximum, Minimum, Spannweite, 0.25-Quartil, 0.75-Quartil und der Interquartilsabstand bestimmt worden (Tabelle 2). Diese Werte

	Mittelwert	Median	Maximum	Minimum	Spannweite	Q ₂₅	Q ₇₅	Quartilsabstand
schwach	0.07	0.03	0.25	0.00	0.25	0.00	0.12	0.12
mittel	0.43	0.53	0.71	0.00	0.71	0.34	0.58	0.24
stark	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 2. Statistische Kennwerte der physischen Vulnerabilität der untersuchten Gebäude.

charakterisieren die physische Vulnerabilität der untersuchten Wohngebäude in Baltschieder in der jeweiligen Intensitätsklasse.

4. Ergebnisse und Diskussion

Gemäss der Zusammenstellung in Tabelle 1 weisen die Wohngebäude mit den vier grössten Schadenempfindlichkeiten allesamt eine mittlere Intensität auf. Mit Ausnahme von Gebäude Nr. 16 gehören alle Gebäude mit einer Schadenempfindlichkeit von 0 der schwachen Intensitätsklasse an. Dies ist ein Hinweis, dass das Kriterium der effektiven Wirkungshöhe und das Klassierungssystem den Zusammenhang zwischen einwirkender Prozessintensität und daraus resultierendem Schaden relativ gut abzubilden vermag. Für Gebäude Nr. 13 kann aufgrund fehlender Prozesseinwirkung keine Zuordnung zu einer Schadenempfindlichkeit gemacht werden. Es wird vermutet, dass der Schaden an Gebäude Nr. 13 aufgrund seiner erhöhten Hanglage nicht durch die feststoffführende Überschwemmung, sondern durch weitere Prozesse wie Oberflächenabfluss, Grundwasseraufstoss oder Kanalisationsrückstau verursacht wurde.

Nr.	Intensitätsklasse	Schadenempfindlichkeit
1	mittel	0.71
2	mittel	0.58
3	mittel	0.53
4	mittel	0.34
5	schwach	0.25
6	schwach	0.23
7	schwach	0.13
8	schwach	0.12
9	schwach	0.10
10	schwach	0.10
11	schwach	0.04
12	schwach	0.02
13	-	0.02
14	schwach	0.01
15	schwach	0.00
16	mittel	0.00
17	schwach	0.00
18	schwach	0.00
19	schwach	0.00
20	schwach	0.00

Tabelle 1. Intensitätsklassen nach dem hier vorgestellten schadenbasierten Klassierungssystem und korrespondierende Schadenempfindlichkeit für die 20 untersuchten Gebäude.



Bild 6. Angeströmte Fassade des Wohngebäudes Nr. 16. Die Anströmrichtung ist mit einem blauen Pfeil gekennzeichnet (Foto Martin Seiler).

Bei Gebäude Nr. 16 (Bild 6) kann der Umstand, dass sich in Anströmrichtung nur ein kleines Fenster in der untersten Etage befindet und diese nicht als Wohnraum genutzt wird, als Erklärung für die Schadenempfindlichkeit von 0 trotz einer mittleren Intensität angeführt werden.

In Tabelle 2 sind die statistischen Kennwerte der physischen Vulnerabilität zusammengefasst. Es wird ersichtlich, dass sowohl der Mittelwert als auch der Median der Schadenempfindlichkeit in der schwachen Intensitätsklasse mit 0.07 respektive 0.03 deutlich geringer ist als in der mittleren Intensitätsklasse, in welcher der Mittelwert 0.43 und der Median 0.53 beträgt. Ein Trend zu ansteigender

Schadenempfindlichkeit mit zunehmender Intensitätsklasse ist wie erwartet festzustellen. Dies ist ebenfalls im Diagramm «Schadenempfindlichkeit vs. effektive Wirkungshöhe» (Bild 7) ersichtlich.

Im Bereich von 0.5 bis 1 m effektiver Wirkungshöhe ist eine Streuung der Schadenempfindlichkeit festzustellen. Da die Prozessintensität für die Gebäude in diesem Bereich praktisch identisch ist, sind die Unterschiede zum Teil auf individuelle Gebäudemerkmale wie etwa die Anzahl und Lage der Gebäudeöffnungen zurückzuführen.

In Bild 8 ist zum Vergleich die Schadenempfindlichkeit mit der Intensität berechnet nach Loat & Petraschek (1997), gegenübergestellt. Dieses Klassierungs-

system scheint im Vergleich zum hier vorgestellten, schadenbasierten Ansatz mit effektiver Wirkungshöhe den Zusammenhang zwischen Schadenempfindlichkeit und Prozessintensität weniger gut zu repräsentieren, resp. ist diesbezüglich kein deutlicher Trend auszumachen. Dies unterstreicht den Umstand, dass das primär auf die menschliche Gefährdung ausgerichtete Klassierungssystem nach Loat & Petraschek (1997) für Vulnerabilitätsanalysen nur bedingt geeignet ist und dass die Entwicklung von schadenbasierten Intensitätskriterien wichtig ist, um möglichst aussagekräftige Werte für die physische Vulnerabilität zu erhalten.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Fallstudie in Baltschieder hat gezeigt, dass BASEMENT als Simulationssoftware einen wertvollen Beitrag zur Rekonstruktion der Prozessintensität für Vulnerabilitätsanalysen von feststoffführenden Überschwemmungen leisten kann. BASEMENT bietet in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, dynamisch über das gesamte Ereignis von einem relativ gut rekonstruierbaren Proxy, wie der Ablagerungshöhe, ex post auf weitere Prozesscharakteristika, wie die Entwicklung der Ablagerungshöhen und Fliesstiefen im Verlauf des Ereignisses, zu schliessen. Die Kalibrierung der Simulation aufgrund einer möglichst fundierten Datengrundlage ist dabei eine wichtige Voraussetzung, um verlässliche Resultate zu erhalten.

Das vorgestellte Klassierungssystem und das Intensitätskriterium der effektiven Wirkungshöhe repräsentieren

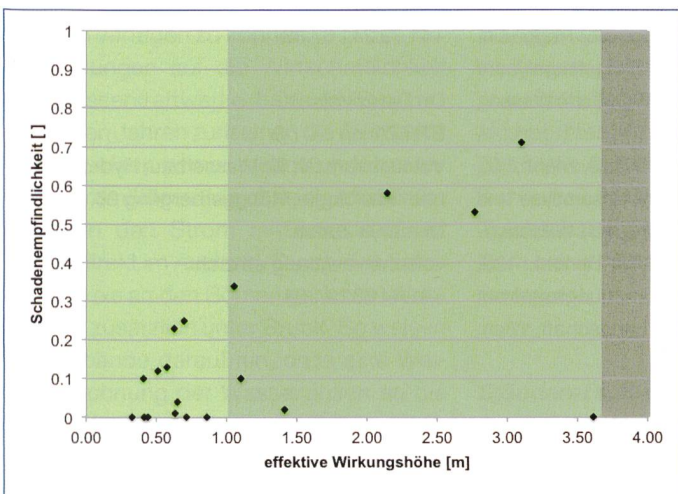


Bild 7. Schadenempfindlichkeit vs. effektive Wirkungshöhe mit sichtbarer Streuung der Datenpunkte zwischen 0.50 und 1 m. Ein Trend zu ansteigender Schadenempfindlichkeit bei steigender Prozessintensität ist in den Daten erkennbar. Die schadenbasierten Intensitätsklassen sind in hellgrün (schwach), grün (mittel) und graugrün (stark) markiert.

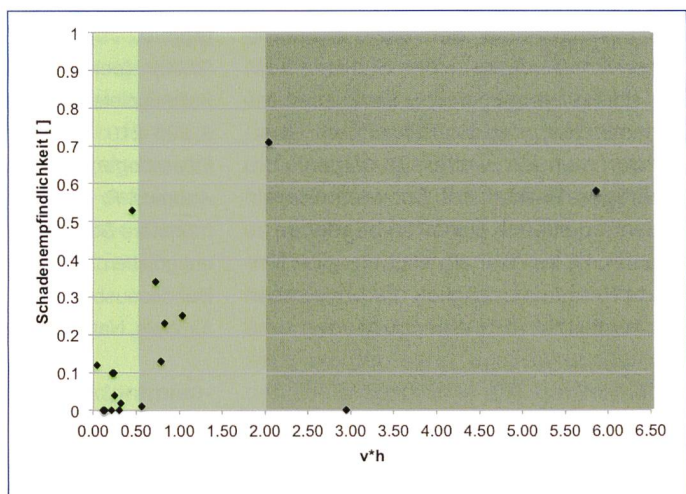


Bild 8. Schadenempfindlichkeit vs. Prozessintensität $v \cdot h$, wobei kein deutlicher Trend auszumachen ist. Die Intensitätsklassen nach Loat & Petraschek (1997) sind in hellgrün (schwach), grün (mittel) und graugrün (stark) markiert.

einen ansteigenden Zusammenhang zwischen Prozessintensität und Schadenempfindlichkeit und beschreiben damit die physische Vulnerabilität für die hier untersuchten Wohngebäude besser als das Klassierungssystem nach *Loat & Petrascheck* (1997). Der Einfluss der Lage von Fensterscheiben auf die physische Vulnerabilität eines Wohngebäudes ist in diesem Zusammenhang hervorzuheben. Aufgrund des geringen Stichprobenumfanges erfordern die Vulnerabilitätswerte jedoch eine weitere Validierung durch zukünftige Studien. Für weitere Untersuchungen können das hier vorgestellte Klassierungssystem und das Kriterium der effektiven Wirkungshöhe als Ansatz dienen, wobei es bezüglich der Berücksichtigung der Prozessintensität von feststoffführenden Überschwemmungen und der Objektparameter der Wohngebäude viele offene Fragen gibt. Diese Aspekte sind jedoch zentral für die Bestimmung von robusten Vulnerabilitätswerten.

Eine wichtige Limitation stellt in diesem Zusammenhang die Individualität der Wohngebäude bezüglich Art, Qualität und Lage von Gebäudemerkmalen wie Fenstern dar. Diese Individualität kann in einem schadenbasierten Klassierungssystem wohl nie vollumfänglich berücksichtigt werden und führt zu entsprechender Streuung in den Ergebnissen. Für die Definition von robusten Vulnerabilitätswerten sollte zudem eine grössere Stichprobenmenge untersucht werden. Die Beschaffung der dazu benötigten Versicherungsdaten ist in der Schweiz aufgrund der Datenschutzbestimmungen und des Geschäftsgeheimnisses der Assekuranzen jedoch schwierig.

Hinsichtlich der sozio-ökonomischen Entwicklung in der Schweiz werden die Risiken gegenüber Prozessen wie dynamischen, feststoffführenden Überschwemmungen weiter ansteigen. Um derartigen Risiken auf Schwemmkegeln in den Alpen auch zukünftig begegnen zu können, ist es deshalb wichtig, eine fundierte Kenntnis bezüglich der physischen Vulnerabilität von Wohngebäuden und

ihren Einflussfaktoren zu erlangen. Einerseits würde dies den Versicherungen ermöglichen, Risiken möglichst präzise einzuschätzen, und andererseits kann ein verbessertes Verständnis über die Faktoren, welche die physische Vulnerabilität steuern, dazu beitragen, dass Risiken in Bezug auf Gebäude durch Objektschutz oder angepasste Gebäudekonzeption verringert werden.

Literatur

- Borter, P.* (1999). Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren – Methode. Reihe: Umwelt-Materialien, Nr. 107/I, Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Fuchs, S., Heiss, K., Hübl, J.* (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 495–506.
- Hegg, C., Schmid, F., Frick, E.* (2002). Hochwasser 2000 – Ereignisanalysen/Fallbeispiele. Berichte des BWG, Serie Wasser, 2, Bern.
- Holub, M., Suda, J., Fuchs, S.* (2012). Mountain hazards: reducing vulnerability by adapted building design. *Environmental Earth Sciences*, 66, 1853–1870.
- Jäggi, M., Nigg, U., Teyssiere, P.* (2004). The sediment disaster of Baltschieder. *Proceedings Interpraevent Congress*, Riva, Italy, 165–180.
- Lange, D., Bezzola, G. R.* (2006). Schwemmholz – Probleme und Lösungsansätze. VAW Mitteilungen Nr. 188, ETH Zürich.
- Loat, R., Petrascheck, A.* (1997). Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen 1997. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1997, Bern.
- Meyer, A.* (2014). Schollglas Dienstleistungs- und Entwicklungsgesellschaft GmbH. Schriftliche Mitteilung vom 16.06.2014.
- Nigg, U., Teyssiere, Ph., Jäggi, M., Hegg, Ch.* (2002). Hochwasser 2000 – Ereignisanalysen/Fallbeispiele. Berichte des BWG, Serie Wasser, 2, 206–210.
- Oberndorfer, S., Fuchs, S., Rickenmann, D., Andrecs, P.* (2007). Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbachereignissen in Österreich. BFW-Bericht, 139, Bundesausbildungs- und Forschungszentrum für Wals, Naturgefahren und Landschaft, Wien.

Papathoma-Köhle, M., Keiler, M., Totschnig, R., Glade, T. (2012). Improvement of vulnerability curves using data from extreme events: debris flow event in South Tyrol. *Nat Hazards*, 64, 2083–2105.

Romang, H. (2004). Wirksamkeit und Kosten von Wildbach-Schutzmassnahmen. Verlag des Geografischen Instituts der Universität Bern, Bern.

Rudolf-Miklau, F., Suda, J. (2012). Bauen und Naturgefahren. Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz, Springer Verlag, Wien.

Spichtig, S., Bründl, M. (2008). Verletzlichkeit bei gravitativen Naturgefahren – eine Situationsanalyse. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.

Totschnig, R., Fuchs, S. (2013). Mountain torrents: Quantifying vulnerability and assessing uncertainties. *Engineering Geology*, 155, 31–44.

Totschnig, R., Sedlacek, W., Fuchs, S. (2011). A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport. *Nat hazards*, 58, 681–703.

Turowski, J. M., Badoux, A., Rickenmann, D., Fritschi, B. (2008). Erfassung des Sedimenttransportes in Wildbächen und Gebirgsflüssen – Anwendungsmöglichkeiten von Geophonmessanlagen. *Wasser Energie Luft*, 100(1), 69–74.

Vetsch, D., Ehrbar, D., Peter, S., Rousselot, P., Volz, C., Vonwiller, L., Faeh, R., Farshi, D., Mueller, R., Veprek, R. (2013). BASEMENT – Basic Simulation Environment for Computation of Environmental Flow and Natural Hazard Simulation. VAW, ETH Zürich.

Anschrift der Verfasser

Martin Seiler, Wasser/Schnee/Lawinen – Ingenieurbüro André Burkard AG, Sebastiansplatz 1, CH-3900 Brig-Glis
m.seiler@wasserschneelawinen.ch
+41 79 241 67 33

Dr. *David Vetsch*
ETH Zürich

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Höggerbergring 26,
CH-8093 Zürich
vetsch@vaw.baug.ethz.ch
+41 44 632 41 04