



AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS



ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Empfehlung für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren in Österreich

2014

Herausgeber: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik
A-5020 Salzburg, Innsbrucker Bundesstraße 67
Tel.: +43 (0)662 875519, Fax: +43 (0)662 886748
E-Mail: salzburg@oegg.at
<http://www.oegg.at>

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

© ÖGG Salzburg 2014

Inhalt	Seite
1. Einleitung	1
2. Anwendungsbereich	1
3. Definitionen und Begriffsfassungen	2
3.1. Gefahr	2
3.2. Sicherheit	3
3.3. Juristische Gefahrendefinitionen	3
3.3.1. Gefahrenstufen in zeitlicher Hinsicht	3
3.3.2. Gefahrenstufen in Hinblick auf das Ausmaß der Gefahr:	3
3.3.3. Handlungsformen zu Gefahren	3
4. Bestehende Verhältnisse	4
4.1. International	4
4.2. Siedlungs- und Wirtschaftsraum in Österreich	5
4.3. Straßenverkehr	7
4.4. Schienenverkehr	7
4.5. Arbeitsunfälle	8
5. Schutzziel	10
6. Anwendungsbeispiel	11
7. Literatur	15

EMPFEHLUNG:

Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren in Österreich

Mitglieder des Arbeitskreises:

POISEL Rainer	TU Wien
MÖLK Michael	Wildbach- und Lawinenverbauung, Geologische Stelle
BRAUNER Michael	ÖBB-Infrastruktur AG
CERNY Helmut	BMLFUW
DI MONTE Maximilian	Ingenieurbüro Laabmayr & Partner
FASCHING Alfred	3G Gruppe Geotechnik Graz
FUCHS Sven	Univ. f. Bodenkultur
GORICKI Andreas	3G Gruppe Geotechnik Graz
GROSSAUER Karl	Amberg Engineering
HERDINA Johann	TIWAG
HÖFER Giorgio	Geoconsult
HOFMANN Robert	Hofmann Geotechnik
HONEGER Christian	ASFINAG
HÜBL Johannes	Univ. f. Bodenkultur
JAUERNIG Peter	Sozialministerium, Zentral-Arbeitsinspektorat
KALINA Thomas	ASFINAG
KOCH Gerhard	ASFINAG
KOLENPRAT Bernd	Sozialministerium, Zentral-Arbeitsinspektorat
LAIMER Hans-Jörg	ÖBB-Infrastruktur AG
LAUFFER Harald	PORR
PFURTSCHELLER Clemens	Landesfeuerwehrverband Vorarlberg
PICHLER Andreas	BMLFUW
PREH Alexander	TU Wien
RACHOY Christian	ÖBB-Infrastruktur AG
SCHWENDTNER Barbara	BMLFUW
SCHOPF Josef Michael	TU Wien
TENTSCHERT Ewald	TU Wien
ZENZ Gerald	TU Graz
ZETTLER Alfred	zconsult

1. EINLEITUNG

Schutzziele im Sinne dieser Empfehlung sind Wahrscheinlichkeiten, durch bestimmte Ereignisse zu Tode zu kommen, die in der Öffentlichkeit als akzeptabel angesehen werden. Diese Zahlen unterliegen daher wechselnden Ansichten der Gesellschaft und sind über die Zeit nicht konstant. Gegenstand der vorliegenden Empfehlung ist jener Grenzwert als akzeptable Wahrscheinlichkeit, mit der eine Person derzeit rechnen muss, in Österreich durch eine gravitative Naturgefahr zu Tode zu kommen. Ergibt sich aus Untersuchungen, dass an einem bestimmten Ort die Wahrscheinlichkeit, durch eine gravitative Naturgefahr zu Tode zu kommen, größer als das Schutzziel ist, kann von den zuständigen Stellen erwartet werden, dass Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit getroffen werden.

Vorrangiges Schutzgut sind Menschen. Menschen sollen vor allem vor dem Tod, in zweiter Linie vor körperlichen und psychischen Verletzungen bewahrt werden. Im Folgenden werden daher Todesopfer als Indikator für Schäden an Menschen verwendet. Bei manchen Naturereignissen zeigt sich zudem, dass die Zahl der Todesopfer mit der Zahl der Verletzten korreliert. In solchen Fällen kann mit Hilfe des Indikators Todesopfer auf weitere Schäden an Menschen geschlossen werden [9].

Der Anspruch des Einzelnen auf Schutz kann sich nur auf eine generelle Handlungspflicht beziehen – nicht auf bestimmte Sicherheitsvorkehrungen ([9], [13]).

2. ANWENDUNGSBEREICH

Die vorliegende Empfehlung bezieht sich nur auf das Schutzziel (vgl. [22]) gegenüber gravitativen Massenbewegungen (Steinschlag, Felssturz, Bergsturz, Rutschungen, Muren, Wildbachprozesse, Lawinen und Hochwasser).

Die folgenden Definitionen von Verantwortungsbereichen und die dazugehörigen Beispiele wurden in Anlehnung an Eckhardt [9] für Österreich formuliert.

Schutzziele braucht, wer Verantwortung für den Schutz anderer Menschen vor Naturgefahren übernimmt. Die Verantwortung variiert mit den Bereichen, in denen sich Personen bewegen, die Naturgefahren ausgesetzt sind. Dabei übernehmen teils Institutionen Verantwortung für den Schutz vor Naturgefahren, teils die Betroffenen selbst. Entsprechend werden drei Verantwortungsbereiche unterschieden [9]:

Im Bereich der institutionellen Verantwortung können die vom Risiko Betroffenen aufgrund rechtlicher Bestimmungen und gesellschaftlicher Praxis davon ausgehen, dass eine Institution (z.B. der Bürgermeister als Baubehörde, Hauseigentümer, Betreiber einer Bergbahn, Straßenerhalter) das Risiko für sie begrenzt. Die Institution kann den Betroffenen jedoch in bestimmten Fällen zumuten, ihre Verletzlichkeit, z.B. durch Objektschutzmaßnahmen oder durch geeignetes Verhalten, zu vermindern [16]. Zentrale Voraussetzung hierfür ist, dass die Betroffenen über die Situation informiert werden (wird z.B. teilweise durch Gefahrenzonenplan oder durch Auflagen in einem Baubescheid Rechnung getragen) und grundsätzlich in der Lage sind, selbst Sicherheitsmaßnahmen zu ergreifen. Zum institutionellen Verantwortungsbereich zählen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Siedlungsraum, bewilligte Bauten (Baubehörde, Gewerbebehörde etc.)
- ausgewiesene Fuß- und Radwege im Dauersiedlungsraum
- Autobahnen; Landes- und Gemeindestrassen
- Eisenbahnlinien einschließlich Bahnhöfe; Seilbahnen einschließlich Stationen
- Routen des öffentlichen Schiffverkehrs einschließlich Schiffsanlegestellen
- Öffentliche Flughäfen
- bewilligte Sportanlagen; öffentliche Skipisten; touristisch beworbene Lehrpfade
- Restaurants, Kulturgüter u. ä.
- Bewilligte Campingplätze und Freizeitanlagen
- Bewilligte Festplätze und Märkte

Im Bereich der professionellen Verantwortung übernehmen die vom Risiko Betroffenen bewusst und bei Verfügbarkeit alternativer Handlungsoptionen ein hohes Maß an Eigenverantwortung, indem sie einen Beruf ausüben, der mit erhöhten Naturrisiken verbunden ist. Dies betrifft beispielsweise Personen, die in Rettungsdiensten, Straßenunterhalt, Trassenunterhalt und im Forstdienst arbeiten. Der Schutz von Arbeitnehmern wird im Bereich der Arbeitssicherheit geregelt und ist daher nicht Gegenstand der vorliegenden Empfehlung (vgl. [9]).

Im Bereich der individuellen Verantwortung können die vom Risiko Betroffenen nicht davon ausgehen, dass eine Institution das Risiko für sie begrenzt. Sie sind daher für ihren Schutz selbst verantwortlich. Dies gilt z.B. für Aktivitäten in Gebieten, die sich im Naturzustand befinden, wie z.B. Wanderwege in freier Natur, Schirouten usw. Der Bereich der individuellen Verantwortung ist ebenfalls nicht Gegenstand der vorliegenden Empfehlung (vgl. [9]).

Die vorliegende Empfehlung bezieht sich daher nur auf den institutionellen Bereich (vgl. [9]).

3. DEFINITIONEN UND BEGRIFFSFASSUNGEN

3.1. Gefahr

Eine Gefahr beschreibt den Umstand, dass aus einem Prozess ein Schaden für Personen und/oder Sachgüter resultieren kann. Die Gefahrenbeurteilung erfolgt prozessgruppen- oder prozessartspezifisch unter Einbeziehung der Intensität und der Eintrittswahrscheinlichkeit ([12] und [22]).

Der Begriff Gefahr hat eine außerordentlich umfassende Bedeutung. Im Allgemeinen wird mit Gefahr nur der mögliche Schadenseintritt bezeichnet, während z.B. Varnes [29] die Intensität einer Gefahr nur über Eintrittswahrscheinlichkeiten (Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Massenbewegung? Wahrscheinlichkeit der Beschädigung eines Objekts durch einen Stein-schlagblock?) klassifiziert. Umgangssprachlich wird aber ein großer Schaden, dessen Eintreten sehr unwahrscheinlich ist, kaum als große Gefahr empfunden. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit, einen Euro zu verlieren, sehr groß ist, wird dies im Allgemeinen nicht als große Gefahr gesehen werden. Im allgemeinen Sprachgebrauch bedeutet daher eine große Gefahr die Möglichkeit eines großen Schadens mit einer subjektiv als hoch empfundenen Eintrittswahrscheinlichkeit. Das Kombinieren von Intensität (Maß für möglichen Schaden) und Eintrittswahrscheinlichkeit in der Definition von Gefahr durch die Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologische Bundesanstalt [12] besteht daher zu Recht [24], und wird auch in anderen

Fachbereichen so angewandt (z.B. Bundeswasserbauverwaltung, Wildbach- und Lawinenverbauung).

Die folgenden Definitionen wurden Angerer [1] entnommen.

3.2. Sicherheit

Sicherheit bezeichnet einen Zustand, der frei von unvermeidbaren Risiken der Beeinträchtigung ist oder als gefahrenfrei angesehen wird [8].

Sicherheit kennzeichnet also einen Zustand, in dem das verbleibende Risiko (= Schaden x Eintrittswahrscheinlichkeit) als akzeptabel eingestuft wird. Es besteht also bei Sicherheit noch die Möglichkeit, dass ein Schaden eintreten kann.

Allgemein wird Sicherheit allerdings nur als relativer Zustand der Gefahrenfreiheit angesehen, der stets nur für einen bestimmten Zeitraum, eine bestimmte Umgebung oder unter bestimmten Bedingungen gegeben ist. Im Extremfall können sämtliche Sicherheitsvorkehrungen durch Ereignisse, die sich nicht beeinflussen lassen oder voraussehen lassen, zu Fall gebracht werden.

3.3. Juristische Gefahrendefinitionen

3.3.1. Gefahrenstufen in zeitlicher Hinsicht

Gegenwärtige Gefahr: Das schädigende Ereignis steht unmittelbar bevor oder in allernächster Zukunft mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit bevor bzw. hat bereits begonnen.

Gefahr in Verzug: zeitlich erhöhte Schadensnähe; Zuwarten unmöglich. Gefahr in Verzug ist ein Begriff aus dem Strafprozessrecht. Sie ist eine Prognose, in der Dringlichkeit angezeigt ist. Im Fall der Gefahr in Verzug können bestimmte Maßnahmen ohne den grundsätzlich vorgeschriebenen Richtervorbehalt durch die Staatsanwaltschaft oder ihre Ermittlungspersonen, durch Behörden und juristische oder natürliche Personen angeordnet werden.

3.3.2. Gefahrenstufen in Hinblick auf das Ausmaß der Gefahr:

Erhebliche Gefahr: Gefahr für hochrangiges Rechtsgut. Der Schaden übersteigt das normale Ausmaß (z. B. extremer, ungesicherter Böschungsanschnitt).

Dringende Gefahr: Zeitlich erhöhte Schadensnähe und Gefahr für hochrangiges Rechtsgut. Die dringende Gefahr kann entweder eine gegenwärtige Gefahr oder auch eine Gefahr in Verzug sein.

3.3.3. Handlungsformen zu Gefahren

Konkrete Gefahr: jede Sachlage, die bei ungehindertem Ablauf des objektiv zu erwartenden Geschehens mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einer Verletzung der Schutzgüter (öffentl. Sicherheit und Ordnung) führt. Ein Einzelsachverhalt begründet Anhaltspunkte für einen Gefahreneintritt. Die konkrete Gefahr steht unmittelbar bevor oder ist bereits eingetreten. Sie erfährt Steigerungen durch die Institute der gegenwärtigen Gefahr, der erheblichen Gefahr und der Gefahr für Leib und Leben.

Abstrakte Gefahr: Sachlage, die nach allgemeiner Lebenserfahrung eine Verletzung der Schutzgüter der öffentlichen Sicherheit oder der öffentlichen Ordnung ergeben kann. Bestimmte Lebenssituationen begründen generell Anhaltspunkte für einen Gefahreneintritt. Die abstrakte Gefahr liegt zeitlich im Vorfeld der konkreten Gefahr, in der Regel sind Zeit und Ort der Gefahr (noch) nicht bekannt, so dass (noch) keine konkrete Gefahr vorliegt. Die abstrakte Gefahr berechtigt noch nicht zu Gefahrenabwehrmaßnahmen.

4. BESTEHENDE VERHÄLTNISSE

4.1. International

International gibt es für den Bereich der gravitativen Massenbewegungen nur in einigen wenigen Ländern (in Europa nur in der Schweiz) Empfehlungen zur akzeptablen Todesfallwahrscheinlichkeit. In der Schweiz wird als Schutzziel betreffend Naturgefahren der Wert 1×10^{-5} pro Jahr empfohlen [9].

Das Zulassen von Versagen in einer ausreichend geringen Wahrscheinlichkeit legt auch z.B. der Eurocode 0 [21] fest, der Sicherheitsbeiwerte mit Versagenswahrscheinlichkeiten koppelt. Die dabei angewandten bzw. vom Eurocode 0 vorgegebenen „Zuverlässigkeitsklassen“ implizieren eine akzeptable Versagenswahrscheinlichkeit, da das Akzeptieren einer begrenzten Zuverlässigkeit zwangsläufig bei einer gewissen Zahl der Fälle bzw. Bauwerke zu einem Versagen innerhalb der Lebensdauer der Konstruktion führen wird. Dabei werden im Eurocode 0 für verschiedene Schadensfolgeklassen (CC) und den korrespondierenden Zuverlässigkeitsklassen (RC) jeweils Versagenswahrscheinlichkeiten (pf) und Sicherheitsindizes β festgelegt (Tabelle 1; [23]).

Wie Bild 1 zeigt, wird in Hong Kong die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person durch Steinschlag oder eine Rutschung zu Tode kommt, mit $1 \cdot 10^{-5}$ als akzeptabel betrachtet.

Tabelle 1: Versagenswahrscheinlichkeit und Sicherheitsindex nach Eurocode 0 für den Grenzzustand der Gesamtstandsicherheit (Bezugszeitraum 1 Jahr)

Schadensfolgeklasse CC bzw. korrespondierende Zuverlässigkeitsklasse RC	Sicherheitsindex β	Versagenswahrscheinlichkeit (pf)
CC 1 \approx RC 1	4,2	$1 \cdot 10^{-5}$
CC 2 \approx RC 2	4,7	$1 \cdot 10^{-6}$
CC 3 \approx RC 3	5,2	$1 \cdot 10^{-7}$

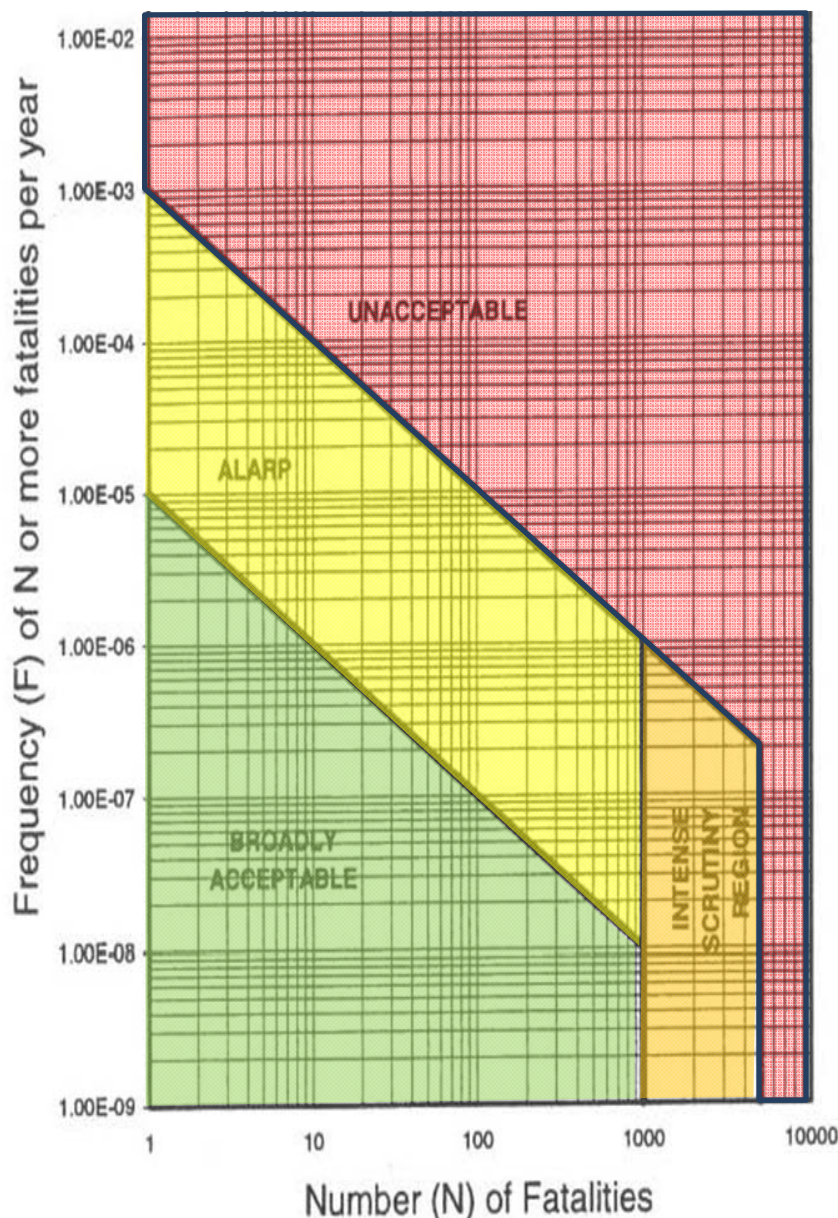


Bild 1. Akzeptable und inakzeptable Todesfallwahrscheinlichkeiten bei Steinschlag und Rutschungen in Hong Kong. aus: [17].

ALARP: As low as reasonably possible

4.2. Siedlungs- und Wirtschaftsraum in Österreich

Für den Siedlungs- und Wirtschaftsraum existieren in Österreich nahezu flächendeckend Gefahrenzonenpläne ([6], [25]). Der Gefahrenzonenplan (GZP) ist ein Planungsinstrument für die Gemeinden, das von der Wildbach- und Lawinenverbauung, einer Dienststelle des BMLFUW, im Rahmen ihrer hoheitlichen Aufgaben erstellt wird. Dabei wird in Abstimmung mit den Gemeinden der „raumrelevante Bereich“ definiert, der den bestehenden Siedlungs-, Wirtschafts- und Verkehrsraum innerhalb des Gemeindegebietes inklusive in näherer Zukunft zu erschließende Flächen beinhaltet. Für diesen „raumrelevanten Bereich“ werden die Gefahrenzonen für Wildbäche und Lawinen, die braunen Hinweisbereiche für Rutschungen und Steinschlag sowie diverse andere Bereiche (Vorbehaltsflächen für künftige Schutzmaßnahmen etc.) dargestellt.

Im GZP werden für die Prozessgruppen Lawine und Wildbachprozesse jeweils rote und gelbe Gefahrenzonen ausgeschieden, die aufgrund von prognostizierten Einwirkungen (Fließhöhen, Lawinendrucke, Staudruck etc.) für das Bemessungsereignis eines 150-jährlichen Schadereignisses abgegrenzt werden.

Für die Prozessgruppen Steinschlag und Rutschung werden im GZP im Rahmen einer Kannbestimmung braune Hinweisbereiche ausgeschieden, die mögliche Wirkungsbereiche dieser Prozesse im raumrelevanten Bereich darstellen können.

Im Zuge von Ereignisanalysen wurden Lawinen- (Beobachtungszeitraum 1949-2005) und Hochwasserereignisse (Beobachtungszeitraum 1972-2004) in Hinblick auf die dabei aufgetretenen Schäden (Sach- und Personenschäden) ausgewertet ([18], [19] und [20]). Dabei ergeben sich im langjährigen Durchschnitt für die Prozessgruppe Lawine ca. 5 Todesfälle pro Jahr ohne Berücksichtigung von Freizeitunfällen im Bereich des Wintertourismus. Für die Prozessgruppe Wildbachprozesse ergeben sich über den Beobachtungszeitraum ca. 2 Todesfälle pro Jahr.

Für die Prozessgruppen Steinschlag/Felssturz und Rutschungen liegen keine gesicherten Daten zu Todesfällen vor. Aus den lückenhaften Datenbeständen kann jedoch grob eine Todesfallrate für diese beiden Prozessgruppen von ca. 2 Todesfällen pro Jahr abgeschätzt werden.

Aufgrund der für die Prozessgruppen Wildbachprozesse und Lawinen im Rahmen der Vulnerabilitätslandkarte Österreich [11] erhobenen Daten ist die Anzahl der Personen, die in roten und gelben Gefahrenzonen von Wildbächen und Lawinen leben, bekannt (ca. 400.000 Personen in den Prozessbereichen von Wildbächen und ca. 30.000 Personen in den Prozessbereichen von Lawinen). Aus diesen Eingangsdaten kann ohne Berücksichtigung der Prozessart, der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit oder des Verbauungsgrades der Gefahrenquelle eine empirische rechnerische Todesfallwahrscheinlichkeit für die Prozessgruppe Wildbachprozesse von $3,83 \cdot 10^{-6}$ und für die Lawinenprozesse von $1,9 \cdot 10^{-4}$ für den in Gefahrenzonen exponierten Personenkreis ermittelt werden (Tabelle 2). Rechnet man die Todesfallraten auf die Gesamtbevölkerung Österreichs mit 8.488.511 Einwohnern [27] hoch, ergeben sich theoretische Todesfallwahrscheinlichkeiten von $5,89 \cdot 10^{-7}$ (Lawine) bzw. $2,36 \cdot 10^{-7}$ (Wildbachprozesse und Steinschlag/Rutschung).

Für die Lawinenprozesse lässt sich nach [18] ein Verhältnis von Todesfälle/Verletzte von 0,84 errechnen (inkludiert alle Lawinenereignisse inklusive Freizeitunfälle).

Tabelle 2: Rechnerische, empirische Todesfallwahrscheinlichkeiten in Österreich für die verschiedenen Prozessgruppen (ohne Freizeitunfälle bei Lawinen; aus: [10])

Prozessgruppe	Todesfallwahrscheinlichkeit bezogen auf exponierte Personenzahl (gelbe + rote Zonen)	Todesfallwahrscheinlichkeit bezogen auf Gesamtbevölkerung
Lawine	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$5,89 \cdot 10^{-7}$
Wildbachprozesse	$3,83 \cdot 10^{-6}$	$2,36 \cdot 10^{-7}$
Rutschung/Steinschlag	k. A.	$2,36 \cdot 10^{-7}$

Um eine Vergleichbarkeit der Todesfallwahrscheinlichkeiten mit jenen im Bereich des Straßen- und Schienenverkehrs zu ermöglichen, kann die rechnerische empirische Todesfallwahrscheinlichkeit auch in Wahrscheinlichkeit je Aufenthaltsstunde angegeben werden (Tabelle 3). Diese Angaben erfolgen für den Siedlungsraum nur für die Prozessgruppen Lawinen und Wildbachprozesse für exponierte Personen, die in ausgewiesenen Gefahrenzonen leben. Für die Prozessgruppe Steinschlag/Rutschung fehlen die erforderlichen Daten hinsichtlich der exponierten Personen. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Gebäuden wird mit 18 Stunden/Tag angenommen [3], eine Unterscheidung von Wohn- und Wirtschaftsgebäuden wird nicht vorgenommen.

Tabelle 3: Rechnerische empirische Todesfallwahrscheinlichkeiten für in Gefahrenzonen (gelb und rot) exponierte Personen je Aufenthaltsstunde in Österreich für die verschiedenen Prozessgruppen (ohne Freizeitunfälle bei Lawinen, [10])

Prozessgruppe	Todesfallwahrscheinlichkeit je Aufenthaltsstunde bezogen auf exponierte Personenzahl (gelbe + rote Zonen)
Lawine	$9,21 \cdot 10^{-6}$
Wildbachprozesse	$2,77 \cdot 10^{-7}$

4.3. Straßenverkehr

Laut Statistik Austria [27] ereigneten sich im Jahr 2012 40.831 Straßenverkehrsunfälle, bei denen 531 Personen getötet wurden. Bei einer Gesamtbevölkerung Österreichs (Mittelwert) für 2012 von 8.464.488 Einwohnern ergibt sich eine Getötetenzeitrate GZ von $1,47 \cdot 10^{-7}$ [Getötete pro Stunde Verkehrsbeteiligungsdauer]. Dabei wurden folgende Randbedingungen [14] berücksichtigt:

- Zeit pro Weg: 26' Männer, 21' Frauen; 3 Wege/Tag = 1095 Wege/Jahr
- Frauen + Männer 2012: 4.331.457 + 4.126.566
- Anzahl der Getöteten in Österreich im Jahr 2012: 531 Tote
- Verkehrsbeteiligungsdauer \varnothing ÖsterreicherIn (Tendenz leicht steigend): 0,391 h/Weg
- Gesamtverkehrsbeteiligungsdauer aller ÖsterreicherInnen: 3.618.086.462,25 [Stunden/Jahr]

Die Wahrscheinlichkeit, in Österreich im Straßenverkehr getötet zu werden, beträgt für 2012 pro Einwohner $6,27 \times 10^{-5}$ [Getötete/EW].

4.4. Schienenverkehr

Die Ermittlung der Getötetenzeitrate sowie der Todesfallwahrscheinlichkeit erfolgte analog den Berechnungen des Straßenverkehrs. Als Grundlagendaten diente die Zeitreihe EUSTAT 2008 bis 2012 [28]. Um dabei Ausreißerwerte auszugleichen, wurden die Berechnungen mit den Medianwerten der fünf zu betrachtenden Jahre durchgeführt. Berücksichtigung fanden dabei ausschließlich im fahrenden Personenzug verunfallte Personen unabhängig von der Unfallursache und der Staatsangehörigkeit (Tabelle 4).

Unter der Annahme, dass alle Österreicher zu gleichen Maßen am Bahnverkehr teilnehmen und die Unfallgefahr österreichweit gleichverteilt ist, kann die Todesfallwahrscheinlichkeit mit $1,20 \times 10^{-7}$ angegeben werden.

Da einerseits der Schwerpunkt der Personenfahrten in Ballungszentren anfällt und andererseits der Anteil der naturgefahrenrelevanten Streckenabschnitte mit ca. 25% abzuschätzen ist, kann die oben angeführte Kennzahl als obere Schwelle angesehen werden. Seit dem Beginn systematischer Aufzeichnungen (1950) kamen im Personenzugverkehr fünf Fahrgäste durch gravitative Massenbewegungen zu Tode, wobei zwei Personen im fahrenden Zug und drei im Bahnhofsbereich verunfallten.

Tabelle 4: Rechnerische empirische Todesfallwahrscheinlichkeiten im österreichischen Schienenverkehr (Personenzugverkehr; [2], [5])

Parameter	Einheit	Quelle	Wert
Gesamtbevölkerung Österreich	[EW]	Eustat Median 2008-2012	8.351.643
Anzahl Unfälle mit bewegtem Zug	[Anz]	Eustat Median 2008-2012	4
Anzahl verunfallte Personen in bewegtem Zug ^{1) 2)}	[EW]	Eustat Median 2008-2012	22
Anzahl getötete Personen in bewegtem Zug ^{1) 2)}	[EW]	Eustat Median 2008-2012	1
Zurückgelegte Bahnkilometer Gesamtbevölkerung	[km]	Eustat Median 2008-2012	10.737.327.661
beförderte Personen Österreichweit	[EW]	Eustat Median 2008-2012	240.900.000
Km/Person	[km/EW]		1.285,65
Verkehrsbeteiligungsdauer je Person	[h/EW]		26,78
Gesamtverkehrsbeteiligungsdauer Gesamtbevölkerung	[h]		223.694.326
Getötetenzeitrate Österreichweit	[Getötete/h]		4,47E-09
Todesfallwahrscheinlichkeit Österreichweit	[Getötete/EW]		1,20E-07
¹⁾ Zugentgleisungen, ZusammenströÙe			
²⁾ Passagiere, Bahnbedienstete			

4.5. Arbeitsunfälle

Laut der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) wurden im Jahr 2012 von ihr 90.400 Arbeitsunfälle von unselbständig Erwerbstätigen anerkannt (ohne Wegunfälle). Davon verliefen 98 Arbeitsunfälle tödlich (dies wären ca. 1,1 ‰ aller Arbeitsunfälle). Die Anzahl der Arbeitsunfälle ist seit Jahren rückläufig (2009: 99.052, 2010: 92.954 und 2011: 92.311; Bild 2). Die Zahl der tödlichen Arbeitsunfälle schwankt jedoch aufgrund ihrer Kleinheit stark, ist aber insgesamt über einen längeren Zeitraum gesehen ebenfalls rückläufig (2008: 115, 2009: 98, 2010: 84 und 2011: 73).

Die Rate für tödliche bzw. die Rate für alle Arbeitsunfälle werden wie folgt gebildet:

$$Rate = \frac{\text{Anzahl d. tödlichen oder Anzahl aller Arbeitsunfälle}}{\text{Anzahl d. Versicherten} \times \text{durchschnittliche Arbeitszeit pro Woche} \times 52}$$

Geht man von ca. 2,88 Mio. unselbständig Erwerbstätigen aus, welche durchschnittlich 31,4 Stunden pro Woche tätig sind (die durchschnittliche Beschäftigungsdauer beträgt laut Statistik Austria für Männer 35,1 Stunden/Woche, für Frauen 27,2 und Gesamt 31,4), so beträgt bei

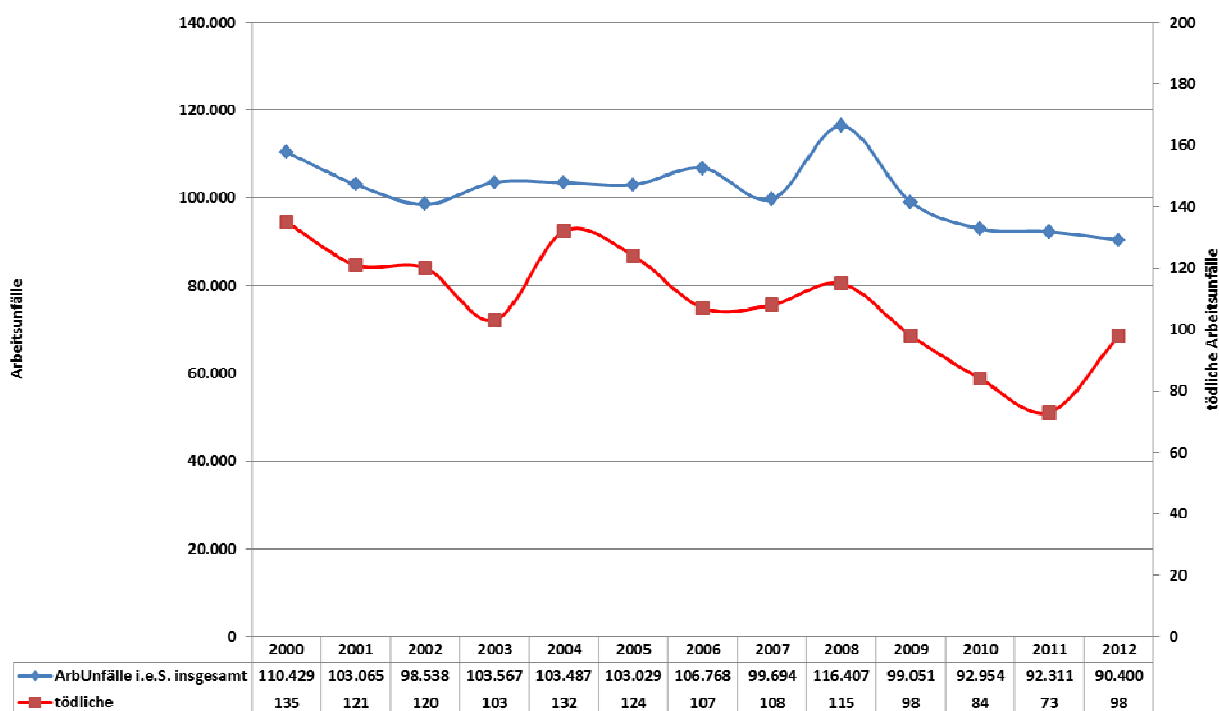


Bild 2: Von der AUVA anerkannte Arbeitsunfälle unselbständig Erwerbstätiger ohne Wegunfälle im Zeitraum 2000 bis 2012. Datenquelle: AUVA.

90.400 Arbeitsunfällen die Rate aller Arbeitsunfälle $1,9 \cdot 10^{-5}$ bzw. bei 98 tödlichen Arbeitsunfällen $2,1 \cdot 10^{-8}$. Diese Raten können als ein Durchschnitt über alle Branchen aufgefasst werden. Tabelle 4 zeigt, dass es jedoch wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Wirtschaftsabschnitten (Branchen) bzw. auch geschlechterspezifisch gibt. Die Baubranche (Hoch-, Tiefbau und vorbereitende Bautätigkeiten) mit ca. 248.000 Arbeitnehmern und ca. 18.000 Arbeitsunfällen, von denen 28 tödlich verliefen, stellt eine Hochrisikobranche dar. 20% aller Arbeitsunfälle (also jeder fünfte) bzw. 28 % der tödlichen (also jeder dritte) ereignen sich am Bau. Mit den Raten von $4,4 \cdot 10^{-5}$ bei Arbeitsunfällen bzw. $6,9 \cdot 10^{-8}$ bei den tödlichen Arbeitsunfällen liegt diese Hochrisikobranche mit einem Faktor von 2,6 bzw. 4,3 über den Raten der restlichen (aufsummierten) Branchen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Arbeitsunfallraten in verschiedenen Wirtschaftsabschnitten

Wirtschaftsabschnitte	Rate aller Arbeitsunfälle			Rate tödlicher Arbeitsunfälle		
	Männer	Frauen	Gesamt	Männer	Frauen	Gesamt
Bau	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$	0	$6,9 \cdot 10^{-8}$
alle Wirtschaftsabschnitte ohne Bau	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$
alle Wirtschaftsabschnitte	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$

Die Wahrscheinlichkeit, in Österreich im Jahr 2012 einen tödlichen Arbeitsunfall zu erleiden [Wahrscheinlichkeit = Anzahl tödliche Arbeitsunfälle / Anzahl unselbständig Erwerbstätige] betrug für Frauen $3,8 \cdot 10^{-6}$, für Männer $5,9 \cdot 10^{-5}$, Gesamt $3,4 \cdot 10^{-5}$ sowie beispielsweise für einen männlichen Bauarbeiter $1,3 \cdot 10^{-4}$.

Die Wahrscheinlichkeit, einen Arbeitsunfall (ohne tödliche Folge) im Jahr 2012 zu erleiden, kann jedoch nicht angegeben werden, da dies an der Festlegung der Anzahl der möglichen Arbeitsunfälle scheitert. Der Versuch, die Wahrscheinlichkeit eines Arbeitsunfalles mit $90.400/2.88 \text{ Mio.} = 3,1 \cdot 10^{-2}$ zu ermitteln, wäre nicht richtig, da ein Arbeitnehmer im Jahr mehrere Arbeitsunfälle erleiden kann (die Anzahl der möglichen Arbeitsunfälle muss also höher sein).

5. SCHUTZZIEL

Die obigen Beispiele zeigen, dass

- in der Schweiz und in Hong Kong eine (individuelle) Todesfallwahrscheinlichkeit bei gravitativen Naturgefahren von $1 \cdot 10^{-5}$ als akzeptabel angesehen wird,
- in den gelben und roten Zonen (Wildbäche und Lawinen) in Österreich die Todesfallwahrscheinlichkeit ca. $2 \cdot 10^{-4}$ (bei Lawinen) bzw. $4 \cdot 10^{-6}$ (bei Wildbächen, jeweils bezogen auf die Zahl der exponierten Personen) beträgt und
- in Österreich die Todesfallwahrscheinlichkeit im Straßenverkehr ca. $6 \cdot 10^{-5}$ beträgt (bezogen auf die Gesamteinwohnerzahl von Österreich, unter der Annahme, dass jeder Österreicher am Straßenverkehr teilnimmt). Dies kann als eine gesellschaftlich akzeptierte Todesfallwahrscheinlichkeit angesehen werden.

Als Ergebnis der obigen Überlegungen wird daher empfohlen, die Wahrscheinlichkeit, aufgrund einer gravitativen Naturgefahr ums Leben zu kommen, mit höchstens

$1 \cdot 10^{-5}$ /Jahr und den einer Gefahr ausgesetzten Einwohnern

(Schutzziel) festzulegen, solange sich eine Person in Österreich im institutionellen Bereich aufhält.

In Bereichen, die keiner gravitativen Naturgefahr ausgesetzt sind, können die Todesfallwahrscheinlichkeiten wesentlich geringer sein (s. Tabelle 2, 3. Spalte).

Der Grenzwert von 10^{-5} /Jahr liegt deutlich unter dem natürlichen Sterberisiko (10^{-2}) aller Altersgruppen in Österreich (Zahlen für 2012; aus: [27]).

6. ANWENDUNGSBEISPIEL

Im Rahmen eines Steinschlagereignisses in Tirol im Jahr 2011, bei dem ein Wohngebäude schwer beschädigt wurde (Bild 3), wurde eine Risikoanalyse nach Bründl et al. [4] durchgeführt [26]. Dabei sollte ermittelt werden, wie groß die Todesfallwahrscheinlichkeit für die Bewohner des Wohnhauses ist. In weiterer Folge sollte dargestellt werden, ob durch die Herstellung von Steinschlagschutzmaßnahmen eine Reduktion des Todesfallrisikos innerhalb des Wohnhauses auf ein im internationalen Vergleich tolerierbares Maß ([4] bzw. Tabelle 6) möglich ist.

Im Rahmen der Risikoanalyse wurde im Zuge von detaillierten Geländeaufnahmen untersucht, welche Blockgrößen aus welchen Hangabschnitten als Sturzblöcke zu erwarten sein würden. Weiteres wurde die Häufigkeit des Auftretens dieser einzelnen Blockgrößenklassen anhand von historischen Daten erhoben und ausgewertet. Daraus ergab sich eine Magnitude-Frequenz-Beziehung (Bild 4), die als Eingangsgröße für eine Steinschlagsimulation verwendet wurde. Die Sturzmodellierungen wurden einerseits ohne und andererseits mit Schutzmaßnahmen durchgeführt.

Tabelle 6: Vergleichszahlen für akzeptierte bzw. faktische Todesfallwahrscheinlichkeiten für verschiedene Gefahren und Nutzungen (aus [15], [21], [26])

Objekt	Jährliches Todesfallrisiko
Ein- und Zweifamilienhaus (Schweiz)	$4,62 \cdot 10^{-6}$ (Schutzziel) $3 \cdot 10^{-5}$ bis $4 \cdot 10^{-6}$ (Schutzziel)
Gemeindestrasse (Schweiz)	$5,18 \cdot 10^{-6}$ (Schutzziel)
Straßenverkehr in Österreich	ca. $6 \cdot 10^{-5}$

Für die Ermittlung der Verletzlichkeit der Hausbewohner wurden die Ergebnisse der Steinschlagsimulationen in Hinblick auf ihre Energie und das damit verbundene Zerstörungspotential für das Wohnhaus mit der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Personen verschnitten. Eine ähnliche Vorgangsweise wurde auch für die Zufahrtsstraße und einen Sportplatz im Gefährdungsbereich angewandt.

Für die Risikoanalyse i. e. S. wurden als Szenarien Sturzblockgrößen von $0,1\text{m}^3$, 1m^3 , 2m^3 und 5m^3 und die entsprechenden Ergebnisse aus der Steinschlagsimulation berücksichtigt.



Bild 3: Schadensereignis in Tirol 2011, Sturzblock mit einer Kubatur von ca. 2 m³

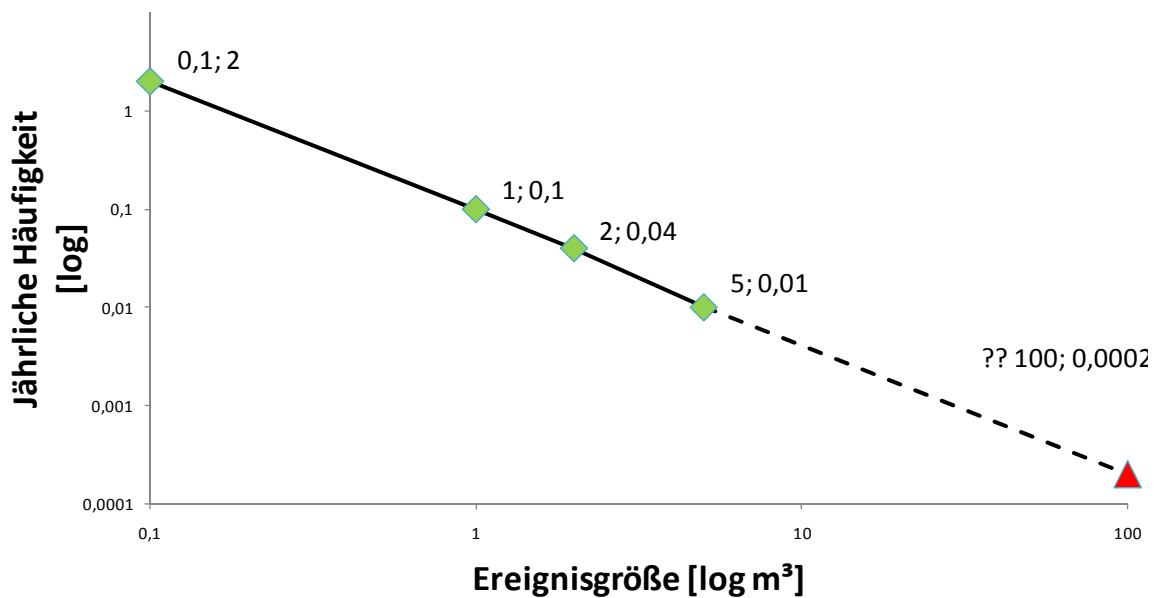


Bild 4: Magnitude-Frequenz-Beziehung (Blockgröße und zugeordnete Auftretenshäufigkeit im Gefährdungsbereich)

Die Berechnung des Risikos erfolgt nach der (modifizierten) Formel aus [7]:

$$R(P) = \sum_{i=1}^k P(L_i) \times P(T:L) \times P(S:T) \times V(D_i) \times C \quad (1)$$

Dabei ist

- R (P).....Erwarteter jährlicher Verlust durch Naturereignisse (€/Jahr)
- P(L_i).....Jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses mit der Magnitude „i“
- P(T:L)_a...Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses mit der Magnitude „i“, das ein gefährdetes Objekt oder Person erreicht (Reichweite)
- P(T:L)_b...Wahrscheinlichkeit, dass die geplante Schutzmaßnahme versagt (Reichweite)
- P(S:T).....Trefferwahrscheinlichkeit, i. e. zeitliche und räumliche Wahrscheinlichkeit, das Objekte oder Personen mit dem Ereignis zusammenfallen
- V(D_i).....Verletzlichkeit (Vulnerabilität) von Objekten oder Personen bei einem Ereignis mit der Magnitude „i“
- C.....Kosten in €

Die vorgestellte Risikoanalyse wurde exklusive der Kosten (C) erstellt. Berechnet wurde das kollektive Todesfallrisiko von Personen innerhalb des Wohnhauses bezogen auf ein Jahr.

Bei Verwendung der Formel (1) ergeben sich die in Tabelle 7 dargestellten Todesfallwahrscheinlichkeiten für die als maßgeblich erachteten Szenarien mit und ohne Schutzmaßnahmen.

Zur Erläuterung des Berechnungsvorganges wird im Folgenden exemplarisch für einen Bemessungsblock von 2 m³, dessen Ablösebereich die mittlere Wandstufe ist, die Ermittlung der Todesfallwahrscheinlichkeit für dieses Szenario (mit vorhandener Schutzmaßnahme) dargestellt:

- P(L_i)Jährliche Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses mit 2 m³= 0,08
- P(T:L)_a ...Wahrscheinlichkeit, dass der Block den Siedlungsraum erreicht: 0,75
- P(T:L)_b ...Wahrscheinlichkeit, dass die Maßnahme versagt (bei einer geplanten Energieaufnahme-fähigkeit von 3000 kJ und einer Bauhöhe von 5 m): 0,001 (einer von 1000 modellierten Blöcken mit 2 m³ übersteigt die Kapazität des Schutzbauwerkes von 3000 kJ)
- P(S:T)_a ...Wahrscheinlichkeit eines Gebäudetreffers: 0,04 (Repräsentanz der Gebäudebreite von 20 m in Relation zur Breite des betrachteten Wirkungsbereichs mit 500 m)
- P(S:T)_b ...Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen im Gebäude: 0,7
- V(D_i)_aWahrscheinlichkeit eines strukturellen Versagens des Gebäudes (Annahme): 0,5
- V(D_i)_bWahrscheinlichkeit eines Personenschadens (Annahme): 0,5

Daraus ergibt sich die folgende Berechnung:

$$\text{Todesfallwahrscheinlichkeit} = 0,08 \times 0,75 \times 0,001 \times 0,04 \times 0,7 \times 0,5 \times 0,5 = 4,2 \times 10^{-7}$$

Addiert man die solcherart ermittelten Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Blockgrößen-szenarien (wobei andere Blockgrößen andere Wahrscheinlichkeiten aufweisen; z. B. bleiben kleinere Blöcke eher am Hang liegen und für den Fall, dass sie das Wohnhaus erreichen, besitzen

sie ein geringeres Schadenspotential), erhält man die kollektive Todesfallwahrscheinlichkeit für die Bewohner für alle unterstellten Szenarien (Sturzblockgrößen, Lage der Ablösestellen etc.).

Im Zuge der Risikoanalyse zeigte sich, dass ohne die Herstellung von Schutzmaßnahmen für die Bewohner des Gebäudes die jährliche kollektive Todesfallwahrscheinlichkeit für alle Gefahrenszenarien (bei der ermittelten Magnitude/Frequenz-Beziehung aller unterstellten Steinschlagereignisse) bei $7,2 \cdot 10^{-4}$ / Jahr liegt (vgl. Tabelle 7) und damit deutlich höher ist, als dies gemäß dieser Empfehlung (und auch international) als akzeptabel angesehen wird (vgl. Tabelle 6). Durch die Herstellung von Steinschlagschutzmaßnahmen ließe sich diese Wahrscheinlichkeit auf $4,8 \cdot 10^{-6}$ / Jahr reduzieren und damit auf einen Wert, der kleiner ist als das in der vorliegenden Empfehlung festgelegte Schutzziel (= Grenzwert der Todesfallwahrscheinlichkeit), senken.

Tabelle 7: errechnete Todesfallwahrscheinlichkeiten für verschiedene Szenarien im Bereich des betroffenen Wohnhauses (aus [26])

Szenario	Ohne Maßnahmen	Mit Maßnahmen
0,1m ³	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-09}$
1m ³ (Ablösung unten)	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-08}$
1m ³ (Ablösung oben)	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$
2m ³	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$
5m ³	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$
Kollektives Risiko	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$

7. LITERATUR

- [1] Angerer H. 2005. Grundgedanken zu Risikokzept und Risikomanagement bei Naturgefahren. Unterlagen zum Kurs „Steinschlag, Felssturz, Rutschungen - Sicherheit, Versagenswahrscheinlichkeit und Risikomanagement“ an der TU Wien am 28.11.2005.
- [2] BMVIT. 2012. Faktenblatt zur Österr. Verkehrspolitik, Stand 13.12.2012. http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/gvp/faktenblaetter/umwelt/fb_strasse_schiene_netz.pdf
- [3] Borter P. 1999. Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren – Methode. Umwelt Materialien Nr. 107/I – Naturgefahren. BUWAL, Bern.
- [4] Bründl M, Aller D, Bischof N, Duvernay B, Egli T, Franciosi G, Gauderon A, Holthausen N, Krummenacher B, Merz H, Romang H, Rüttimann D, Stucki M, Tobler D, Winkler C, Schaub Y. 2009. Risikokzept für Naturgefahren - Leitfaden. BUWAL, Bern.
- [5] Bundesanstalt für Verkehr. 2013. Erstellt am 29.05.2013. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/schiene/unfaelle/index.html
- [6] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. 1976. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne (BGBl 436/1976).
- [7] Corominas J & Moya J. 2008. A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Engineering Geology* 102, 193–213.
- [8] DIN EN 61508-1 VDE 0803-1:2002-11. Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme.
- [9] Eckhardt A (Ed.). 2009: Schutzzielmodell. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 17 S.
- [10] Fuchs S. 2013. Vulnerabilitätslandkarte Österreich. Wildbach- und Lawinenverbau 172. p. 154-165
- [11] Fuchs S & Zischg A. 2013. Vulnerabilitätslandkarte Österreich. IAN Report 152. Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren, Wien.
- [12] Geologische Bundesanstalt. 2013. Definitionen seitens der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt, Wien.
- [13] Hattenberger D. 2006. Naturgefahren und öffentliches Recht. In: Fuchs S, Khakzadeh L, Weber K (eds). *Recht im Naturgefahrenmanagement*. Studienverlag, Innsbruck, pp 67-91.
- [14] Herry M & Sammer G. 1999. Mobilitätserhebung österreichischer Haushalte. Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr. *Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen*, Band 87, Wien.
- [15] Hess J T. 2008. Schutzziele im Umgang mit Naturrisiken in der Schweiz. – Diss. ETH Zürich Nr. 17956.
- [16] Holub M & Fuchs S. 2009. Mitigating mountain hazards in Austria – Legislation, risk transfer, and awareness building. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9 (2):523-537.

- [17] Hungr O. 2011. Characterization of rock-fall and rock-slide hazards. Presentation at Rocexs: Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, Innsbruck/Igls 2011.
- [18] Luzian R. 2002. Die österreichische Schadenslawinen-Datenbank; Forschungsanliegen - Aufbau - erste Ergebnisse. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 175/2002
- [19] Luzian R. 2007. Dokumentation von Lawinenschadereignissen; Lawinenberichte der Winter von 1998/1999 bis 2003/2004. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft. Dokumentation. BFW-Bericht 140/2007.
- [20] Oberndorfer S, Fuchs S, Rickenmann D, Andrecs P. 2007. Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbachereignissen in Österreich BFW-Berichte; Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 2007, Nr. 139, 55 S. ISSN 1013-0713.
- [21] ÖNORM EN 1990. 2003. Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung.
- [22] ONR 24800. 2009. Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung.
- [23] Poisel R, Hofmann R, Mölk M. 2012. Risikobewertung als Basis für Investitionsentscheidungen. Geomechanics and Tunnelling 5 (2012) Nr. 5, S 597 - 604, Ernst&Sohn Berlin.
- [24] Poisel R. 2013. Gefahr, Risiko, Schaden...– Klärung der Begriffe. Berichte der Geologischen Bundesanstalt (ISSN 1017-8880), Band 100, NÖ GEOTAGE – 19. & 20.9.2013 in Rabenstein an der Pielach, S. 29-34.
- [25] Republik Österreich. 1975. Forstgesetz 1975. BGBl 440/1975
- [26] Sausgruber J T, Mölk M, Schreiner I. 2012. Evacuation or protection? Risk analysis as a tool for decision making in the case of a residential building endangered by rock-fall. Geomechanics and Tunnelling 5 (2012) Nr. 4, S 355-367, Ernst&Sohn Berlin.
- [27] STATISTIK AUSTRIA. 2013. Straßenverkehrsunfälle – Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden, Schnellbericht 4.3, Jahresergebnisse 2012. Wien.
- [28] STATISTIK AUSTRIA. 2013. Betriebs- und Verkehrsleistungen im Personenverkehr auf dem österreichischen Schienenverkehrsnetz im Jahr 2012. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/schiene/personenverkehr/index.html
- [29] Varnes D J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practise. UNESCO, Paris.

AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS

ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Innsbrucker Bundesstraße 67
5020 Salzburg, Austria

Tel.: +43 662 875519
Fax: +43 662 886748
H.: www.OEGG.at
E.: Salzburg@OEGG.at