

Wildbach- und Lawinenverbau



Steinschlag

ISBN: 978-3-9504924-1-5
85. Jahrgang
Juni 2021
Heft Nr. 187

Impressum:

Herausgeber:

Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung
Österreichs, A-6900 Bregenz

Schriftleitung:

Dipl.-Geogr. Susanne Mehlhorn
Wildbach- und Lawinenverbauung,
Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland
Marxergasse 2, 1030 Wien; +43 1 5339147 637057
schriftleitung@wlv-austria.at

Dipl.-Ing. Christian Pürstinger (Technischer Referent)
Wildbach und Lawinenverbauung,
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5, 4820 Bad Ischl; +43 6132 232 32-21
christian.puerstinger@wlv-austria.at

Layout & graphische Gestaltung: Studio Kopfsache – Kommunikation & Design, A-5310 Mondsee

Druck & Versand: Gugler GmbH, A-3390 Melk/Donau

Titelbild: Steinschlagschutznetz Gerichtstgraben/Dirndlleiten,

Gemeinde Schönbühel-Aggsbach [Foto: WLV, GBL NÖ West]

Wildbach- und
Lawinenverbau

ISBN: 978-3-9504924-1-5
85. Jahrgang, Juni 2021, Heft Nr. 187

Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz
Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering

DANIELA ENGL, THOMAS SAUSGRUBER, MICHAEL MÖLK, MICHAEL POSCH

Risikoanalyse als Planungsinstrument für nachhaltige Schutzmaßnahmen

Sustainable protection planning with risk analysis

Zusammenfassung:

In Österreich wird für die Dimensionierung von Steinschlagschutzmaßnahmen in der Regel die ONR 24810 herangezogen. Wo ein ONR-konformer Steinschlagschutz nicht umsetzbar oder nicht wirtschaftlich vertretbar ist, kann eine Risikoanalyse unterstützen. Die quantitative Risikoanalyse betrachtet detailliert die situationsspezifische Wahrscheinlichkeit eines Personenschadens und setzt sie mit einem vorgegebenen Schutzziel in Relation. Hierdurch werden nicht nur implizit die Zweckmäßigkeit und die Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen beleuchtet, sondern vielfach auch Alternativlösungen aufgezeigt und nachvollziehbar argumentiert. Ziel ist ein nachhaltiger Schutz, welcher dem gesellschaftlich zumutbarem Restrisiko Rechnung trägt.

Abstract:

Risk analysis can assist in evaluating a specific rockfall hazard and its socioeconomic impact in an objective and transparent manner. This is particularly valuable if state-of-the-art rockfall protection measures are difficult to realize due to extreme site conditions and/or do not satisfy an adequate cost-benefit-ratio. This article illustrates the process and the outcome of a risk analysis conducted in a Tyrolian municipality.

Stichwörter:

Steinschlag-
gefährdung,
Risikoanalyse,
Schutzziel,
akzeptables Restrisiko,
Umsiedelung

Keywords:

Rockfall hazard,
risk analysis,
protection target,
acceptable risk,
relocation

Schutzziel in Österreich

Im Jahr 2014 wurde von der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik die Empfehlung für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren herausgegeben (ÖGG, 2014). Hierbei inkludiert der Begriff gravitative Naturgefahren alle Arten von gravitativen Massenbewegungen wie Steinschlag, Felssturz, Bergsturz, Rutschungen, Muren, Wildbachprozesse, Lawinen und Hochwasser.

Empfohlen wird, die akzeptable Todesfallwahrscheinlichkeit von Personen, welche im institutionellen Bereich einer (oder mehreren) gravitativen Naturgefahr(en) ausgesetzt sind, mit $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr zu begrenzen. Dies bedeutet, dass es gesellschaftlich vertretbar ist, wenn eine von 100.000 Personen während ihres Aufenthalts im institutionellen Bereich durch eine Naturgefahr ums Leben kommt. Unter dem Begriff institutioneller Bereich ist hierbei jeglicher Raum im privaten als auch im öffentlichen Bereich zu verstehen, welcher der institutionellen Verantwortung einer natürlichen oder juristischen Person unterliegt. Dies bedeutet, dass die Bevölkerung davon ausgehen kann, dass eine Institution bzw. deren Verantwortliche (z.B. der Hausbesitzer, der Bürgermeister als Baubehörde, der Straßenerhalter) das Risiko für sie begrenzt. Das akzeptable Todesfallrisiko von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr stellt in Österreich derzeit den Stand der Technik hinsichtlich des anzustrebenden Schutzziels bei gravitativen Naturgefahren dar.

Grundprinzip der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse ermittelt den erwartbaren jährlichen Verlust von Personen oder Objekten infolge eines Ereignisses (sowie bedarfsweise den damit verbundenen monetären Wertverlust).

Für die Risikoanalyse von Naturgefahren werden Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich der Magnitude und Frequenz einer Naturgefahr, der Reichweite des Prozesses, der räumlichen und zeitlichen Trefferwahrscheinlichkeit, der Vulnerabilität der exponierten Personen und Objekte sowie ggf. der monetär ausgedrückte Schadenswert miteinander verkettet. Mathematisch wird diese Verkettung durch Multiplikation aller Eingangsparameter hergestellt:

$$R = \sum_{i=1}^k [W_{M,i} \times W_{R,i} \times W_{T,i} \times V_{OP,i}] \quad \text{Gl. (1)}$$

Dabei ist:

- R Risiko einer Person (oder eines Objektes) durch eine Naturgefahr Schaden zu nehmen (Schadensrisiko)
- $W_{M,i}$ jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses mit der Magnitude „i“ (Ereignisfrequenz)
- $W_{R,i}$ Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis mit der Magnitude „i“ eine Person (oder ein Objekt) erreicht und die geplante/bestehende Schutzmaßnahme versagt (Reichweite)
- $W_{T,i}$ Trefferwahrscheinlichkeit, d.h. zeitliche und räumliche Wahrscheinlichkeit, dass Personen (oder Objekte) mit dem Ereignis zusammenfallen
- $V_{OP,i}$ Vulnerabilität (Verletzlichkeit) von Personen oder Objekten bei einem Ereignis der Magnitude „i“

Das Schadensrisiko R drückt damit den erwartbaren jährlichen Verlust von Personen oder Objekten (Anzahl pro Jahr) infolge Naturereignissen aus. Diese Vorgangsweise findet in der Ermittlung des Todesfallrisikos im Sinne der ÖGG-Empfehlung für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren Anwendung.

Steinschlaggefährdung Recyclinghof Längenfeld

Der Recyclinghof, der Bauhof und die Kläranlage der Gemeinde Längenfeld (Tirol) liegen unmittelbar am Fuß der glazial stark übersteilten orographisch rechten Talflanke des Ötztals (Abb. 1). Das Gelände oberhalb der Anlagen ist von zwei Felssteilstufen mit Hangneigungen bis zu 85° charakterisiert, welche durch eine rund 45° steile bewaldete Pultfläche (Rampe) voneinander abgesetzt sind. Die Felssteilstufen sind aus teils massigen, teils engständig geschieferten und geklüfteten Gneisen aufgebaut. Im Bereich der Pultfläche und am Hangfuß sind ausgedehnte Sturzhalden ausgebildet.

Im März 2015 ging während der Kundenöffnungszeiten des Recyclinghofes ein Steinschlag auf den Einwurfbereich der Wertstoffcontainer nieder. Eine Person wurde dabei von einem Sturzblock gestreift und leicht verletzt, zwei abgestellte Kraftfahrzeuge teils schwer beschädigt. Mehrere weitere anwesende Personen wurden knapp nicht getroffen. In der Folge wurde durch die Amtssachverständigen für Geologie des Landes Tirol eine einstweilige Sperre des Geländes für den Kundenverkehr und die Umsetzung von Schutzmaßnahmen dringend empfohlen (Nittel & Thöny, 2015). Die Gemeinde Längenfeld sperrte den Recyclinghof daraufhin bis auf weiteres und brachte einen Verbauungsantrag bei der WLV Gebietsbauleitung Oberes Inntal ein.

Schutzmaßnahmenbemessung nach ONR 24810

Ein vom Fachbereich Geologie der WLV erstelltes Gutachten (Sausgruber, 2015) kam – basierend auf Steinschlagsimulationen – zum Schluss,

dass eine Schutzverbauung gemäß ONR 24810 lediglich für Blockablösungen aus dem mittleren und unteren Teil der Hauptwand möglich ist. Bei Blockablösungen aus dem oberen Teil der Hauptwand sind die am Markt verfügbaren Verbauungssysteme für einen ONR-konformen Steinschlagenschutz hingegen nicht ausreichend. Mit Verweis auf das verbleibende Restrisiko für Überspringer wurde von Sausgruber (2015) ein Verbauungskonzept mit zwei übereinander gestaffelten Reihen von Steinschlagsschutznetzen erstellt (Abb. 2): eine obere 250 m lange, zweiteilige Netzreihe mit einer Energieaufnahmekapazität von 5.000 kJ und einer Bauwerkshöhe von 6 m, sowie eine untere 200 m lange Netzreihe am Hangfuß mit einer Energieaufnahmekapazität von 2.000 kJ und einer Bauwerkshöhe von 4 m.

Die Kosten für diese Verbauungsmaßnahmen wurden mit 1,5 Mio. Euro veranschlagt. Der Hauptanteil der Kosten entfiel dabei auf die obere Netzreihe, welche aufgrund der geforderten Dimensionierung, des exponierten Standortes und der latenten Steinschlaggefährdung während der Bauarbeiten nur mit beträchtlichem Aufwand umzusetzen wäre.

Aufgrund des hohen technischen und finanziellen Aufwandes für die Schutzmaßnahmen, welche überdies nicht einen befriedigenden Schutz vor Steinschlag aus den höheren Wandbereichen gewährleisten konnte, wurde in Absprache mit der Gemeinde Längenfeld entschieden, die Steinschlaggefährdung am Recyclinghof und das damit verbundene Personenschadensrisiko mittels Risikoanalyse quantitativ zu bewerten. Hierbei sollten die Bestandssituation ohne Schutzverbauung sowie weitere mögliche Betriebsszenarien mit Schutzverbauung betrachtet werden.

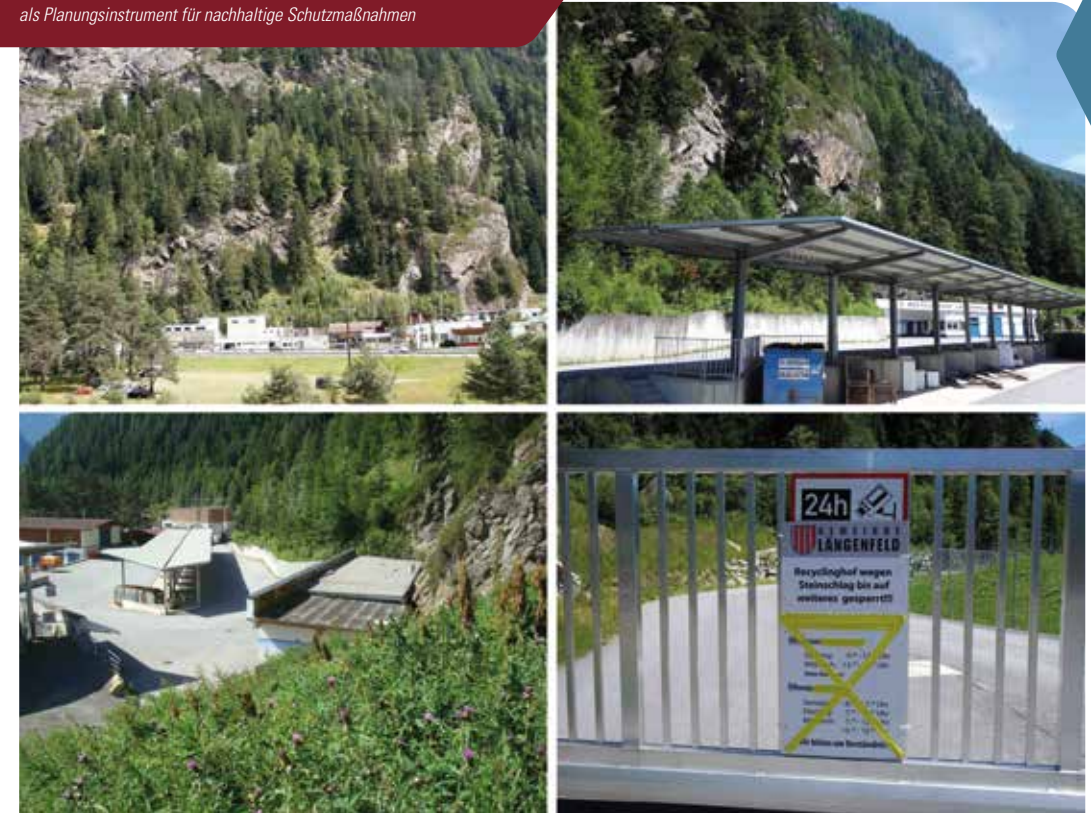


Abbildung 1: Links oben: Übersichtsfoto der Kläranlage, des Bauhofes und des Recyclinghofes der Gemeinde Längenfeld; Rechts oben: Überdachte Containerstellplätze für die Wertstoffsammlung, im Hintergrund das Bürogebäude des Recyclinghofes; Links unten: Überblick über das Areal des Recyclinghofes, zwischen Flugdach und Stützmauer befindet sich der Einwurfbereich für die Kunden; Rechts unten: Sperrung des Geländes als Folge eines Steinschlagereignisses im Kundenbereich mit Personen- und Sachschäden.

Figure 1: Overview of the site. The collection station of Längenfeld has been closed after a rock fall event in March 2015, one person was injured (photos taken in June 2015).

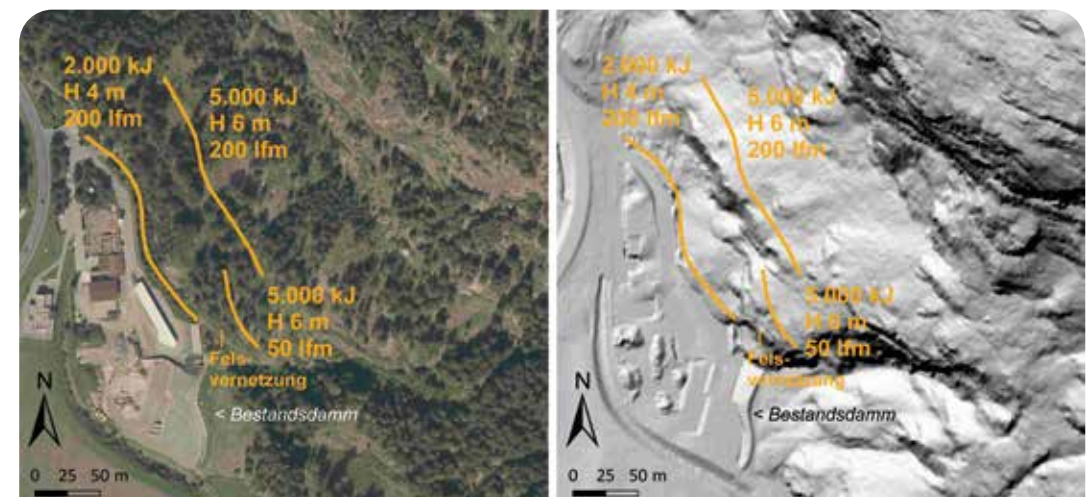


Abbildung 2: Situation im Lageplan (Orthofoto und LIDAR-Geländemodell) mit dem Verbauungskonzept nach Sausgruber (2015).

Figure 2: Site plan with the rockfall protection concept elaborated by Sausgruber (2015). Despite two rows of high capacity rockfall protection fences the requirements of the ONR 24810 are not fulfilled.

Risikoanalyse nach ÖGG-Schutzziel-Empfehlung

Im Folgenden wird die Risikoanalyse Recyclinghof Längenfeld überblicksmäßig dargestellt. Eine ausführliche Darstellung der Vorgehensweise und die Ergebnisse finden sich in Engl (2015).

1. Schritt: Szenarienbildung

Im Vorfeld der eigentlichen Risikoanalyse werden verschiedene Betriebsszenarien definiert. Diese betrachten neben der Bestandsituation (keine

Verbauung, Nutzung des Recyclinghof-Areals wie gewohnt) verschiedene Verbauungsvarianten und Nutzungsvarianten bzw. Kombinationen davon. Darüber hinaus wird eine Verlegung des Recyclinghofes auf ein weiter südlich liegendes Areal betrachtet. Insgesamt werden elf verschiedene Szenarien analysiert (siehe Abb. 3A und 3B).

Für die Szenarien mit Schutzverbauung werden einerseits das im Erstgutachten (Sausgruber, 2015) ausgearbeitete Verbauungskonzept (Vollverbauung), andererseits eine reduzierte Verbauung unterstellt. Die Vollverbauung umfasst hierbei zwei überein-

ander gestaffelte Reihen von Steinschlagschutznetzen (obere Reihe: 5.000 kJ, Höhe 6 m, Länge 250 lfm; untere Reihe: 2.000 kJ, Höhe 4 m, Länge 200 lfm; vgl. Abb. 2). Das reduzierte Verbauungskonzept sieht aufgrund des hohen (technischen und finanziellen) Aufwandes für die obere Netzreihe lediglich die Errichtung der unteren Netzreihe sowie eines Teilstückes der oberen Netzreihe im Bereich der Wertstoffcontainer und des Bürogebäudes des Recyclinghofes vor.

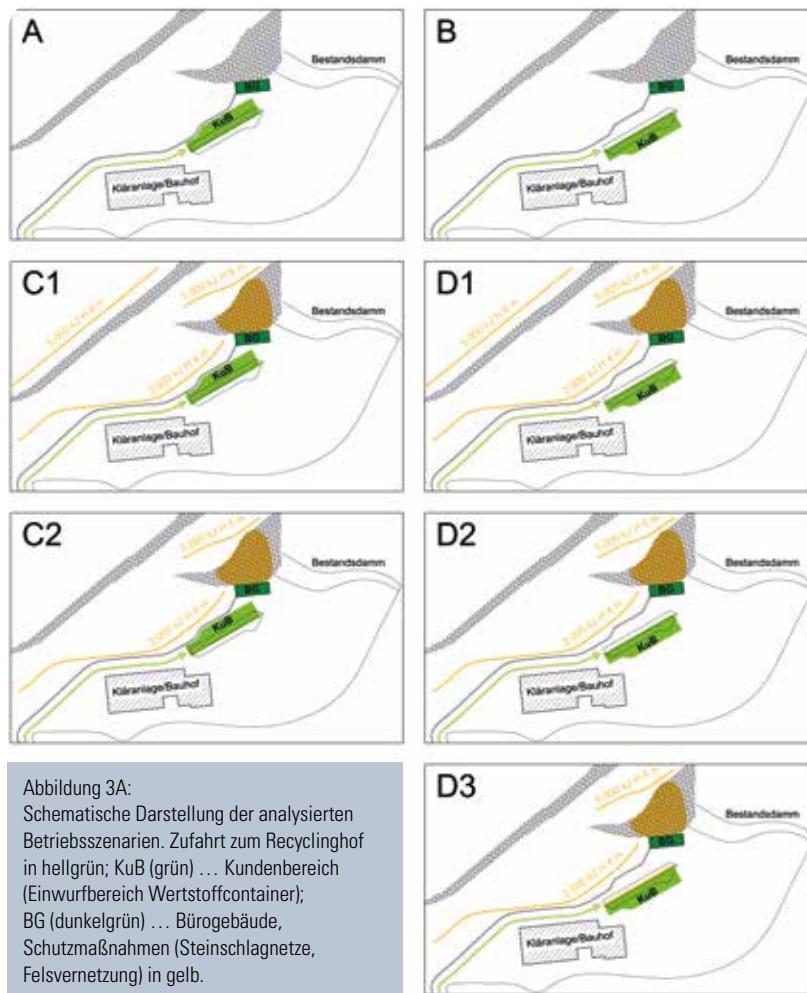


Abbildung 3A: Schematische Darstellung der analysierten Betriebsszenarien. Zufahrt zum Recyclinghof in hellgrün; KuB (grün) ... Kundenbereich (Einwurfbereich Wertstoffcontainer); BG (dunkelgrün) ... Bürogebäude, Schutzmaßnahmen (Steinschlagnetze, Felsvernetzung) in gelb.

Figure 3A: Sketches of different scenarios investigated by risk analysis. Light green ... access road to the collection station; green ... customer area for the scrap collection; dark green ... office building; yellow ... protection measures (rockfall fences, rockfall drapes).

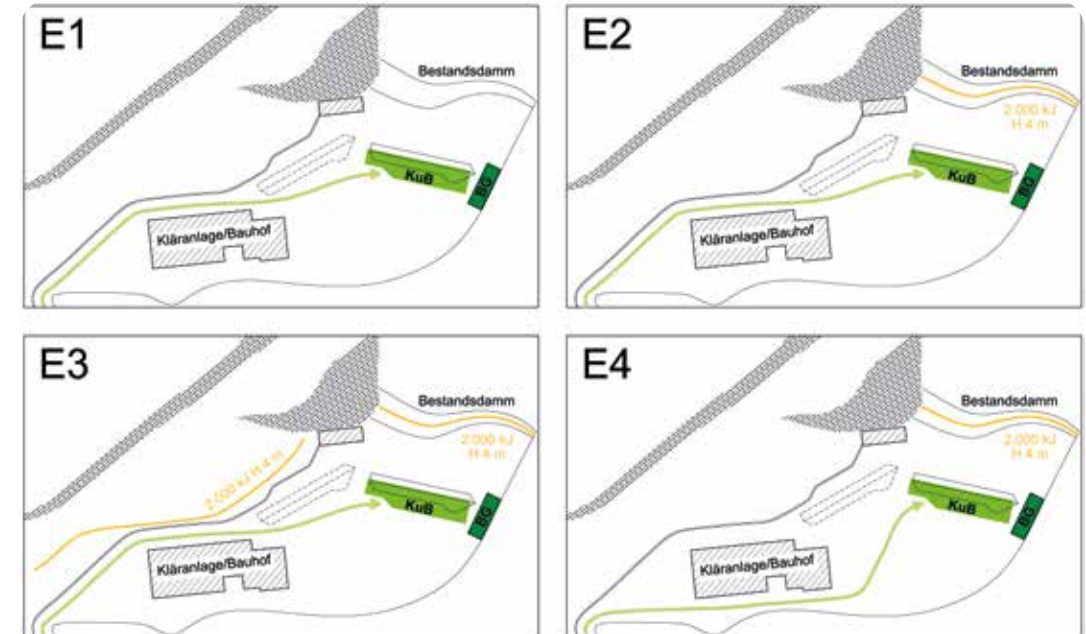


Abbildung 3B: Schematische Darstellung der analysierten Betriebsszenarien E1 – E4 (siehe Beschreibung von Abbildung 3A)

Figure 3B: Sketches of the scenarios E1 – E4 investigated by risk analysis (see description of Figure 3A)

Kurzbeschreibung der Szenarien:

- **Szenario A:** Bestandssituation des Recyclinghofes Längenfeld. Die Zufahrt verläuft unmittelbar am Hangfuß bergseits des Bauhofes und der Kläranlage. Der Materialeinwurf in die überdachten Wertstoffcontainer durch die Kunden erfolgt ebenfalls bergseitig. Das Bürogebäude befindet sich unmittelbar unter dem südlichen Abschnitt der unteren Felssteilstufe.
- **Szenario B:** Zufahrt und Bürogebäude wie Szenario A. Der Kundenzugang zu den Wertstoffcontainern befindet sich auf der gegenüberliegenden bergabgewandten Seite des Flugdaches.
- **Szenario C1:** Bestandssituation mit Vollverbauung gemäß Sausgruber (2015).
- **Szenario C2:** Bestandssituation mit reduzierter Verbauung.

- **Szenarien D1 bis D3:** Kundenzugang auf der bergabgewandten Seite des Flugdaches; mit D1: Vollverbauung, D2: reduzierter Verbauung, D3: reduzierter Verbauung sowie zusätzlicher fünf Meter hoher massiver Betonschutzmauer mit bergseitiger Dämpfungsschicht unter dem Flugdach zum Schutz des Kundenbereiches.
- **Szenarien E1 bis E4:** Verlegung des Recyclinghofes auf das südlich angrenzende Areal, welches durch einen niedrigen Bestandsdamm bereits geringfügig vor Steinschlag geschützt und insgesamt weniger steinschlagexponiert ist. E1: die Bestandszufahrt wird an der bergabgewandten Seite des derzeitigen Flugdaches zum neuen Standort weitergeführt; E2: wie E1, die Wirkhöhe des Bestandsdammes wird mittels aufgesetztem

Steinschlagschutznetz erhöht (2.000 kJ, H 4 m); E3: wie E2, zusätzliches Steinschlagschutznetz zur Abschirmung der Zufahrt (2.000 kJ, H 4 m); E4: wie E2, die Zufahrt zum Recyclinghof wird verlegt, sodass kein Steinschlagschutz notwendig ist.

2. Schritt: Ereignismagnituden

Angaben zu vergangenen Steinschlagereignissen kamen sowohl von der Gemeinde Längenfeld als auch von der Landesgeologie Tirol. Die gemeldeten Kubaturen lagen hierbei in der Größenordnung von 0,1 m³. Neben diesen dokumentierten Ereignissen finden sich im Bereich des Recyclinghofes zahlreiche stumme Zeugen von Steinschlag. Ein Dutzend faust- bis kopfgroßer Steine und Blöcke (jeweils max. ~0,01 m³) wurden bei einer Begehung im Juni 2015 auf dem Flachdach des Bürogebäudes vorgefunden. Es handelte sich hierbei um relativ frische Sturzblöcke, deren maximales Alter dem des Gebäudes selbst, d.h. rund 25 Jahre, entspricht. Hinter der bergseitigen Böschungsmauer liegen geschlossene Blockschutthalten vor, in denen Blockgrößen bis zu 1,3 m³ auftreten. Daneben wurden in den Felssteilstufen absturzfähredete Kluftkörper mit einem Ausmaß von bis zu 2 m³ festgestellt (Sausgruber, 2015).

Aus den dokumentierten Ereignissen und stummen Zeugen einerseits und den festgestellten Kluftkörpern im Ablösebereich andererseits ergibt sich ein repräsentatives Bild der Größenordnungen der potentiellen Sturzblöcke. Für die Risikoanalyse werden vier charakteristische Sturzblockgrößen (Ereignismagnituden) definiert, welche im Areal des Recyclinghofes zu erwarten sind: 0,01 m³; 0,1 m³; 0,5 m³ und 2 m³.

3. Schritt:

Eintrittswahrscheinlichkeit (Ereignisfrequenz)

Die jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit (Ereignisfrequenz) beschreibt, wie häufig ein Ereignis einer spezifischen Größenordnung (Magnitude) zu erwarten ist. Zum Zweck der Risikoanalyse werden für die oben festgelegten charakteristischen Sturzblockgrößen (0,01 m³; 0,1 m³; 0,5 m³ und 2 m³) entsprechende Ereignisfrequenzen festgelegt. Dabei beziehen sich diese Ereignisfrequenzen ausschließlich auf Sturzblöcke, die tatsächlich den Nutzraum, d.h. das Gelände des Recyclinghofes inklusive Zufahrt, erreichen.

Für die kleineren charakteristischen Sturzblockgrößen 0,01 m³ und 0,1 m³ werden die Ereignisfrequenzen gemäß der bekannten Ereignischronik festgelegt bzw. angenähert. So wird – basierend auf den vorgefundenen Sturzablagerungen auf dem Flachdach des Bürogebäudes – angenommen, dass ein Block mit der Größe 0,01 m³ einmal jährlich das Gelände des Recyclinghofes (Gesamtfläche ca. 3.000 m²) erreicht.

Für die charakteristische Ereignismagnitude 0,1 m³ wird auf Basis zwei dokumentierter Ereignisse in den Frühjahren 2011 und 2015 im Bereich der Wertstoffcontainer eine Ereignisfrequenz von 1 Ereignis/10 Jahre angenommen. Diese Ereignisfrequenz entspricht – gemessen an den zwei oben genannten dokumentierten Ereignissen in den 25 Jahren seit Bestehen des Recyclinghofes – einer konservativen Annahme, berücksichtigt allerdings, dass sehr wahrscheinlich nicht alle Ereignisse dieser Größenordnung an die Gemeinde bzw. die Landesgeologie gemeldet wurden, insbesondere wenn sie außerhalb der Öffnungszeiten des Recyclinghofes stattfanden und damit nicht unmittelbar als personengefährdend wahrgenommen wurden.

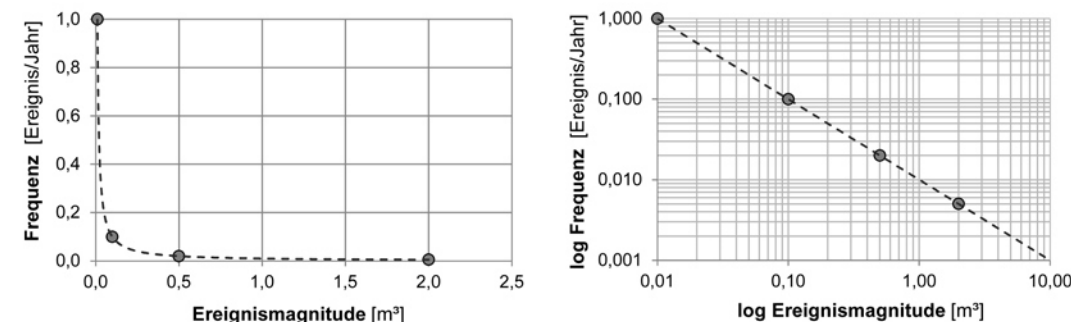


Abbildung 4: Magnitude-Frequenz-Beziehung in linearer und doppellogarithmischer Darstellung.

Figure 4: Frequency and magnitude of rockfall events as supposed in the risk analysis.

Für die größeren charakteristischen Sturzblockgrößen 0,5 m³ und 2 m³ werden die Ereignisfrequenzen unter der Annahme einer exponentiellen Magnitude-Frequenz-Beziehung, wie sie bei natürlichen Verteilungen häufig anzutreffen ist, extrapoliert. Hierfür werden im doppellogarithmischen Plot, ausgehend von den vorher festgelegten Magnitude-Frequenz-Beziehungen für die Blockgrößen 0,01 m³ und 0,1 m³, die Ereignisfrequenzen für die Blockgrößen 0,5 m³ und 2,0 m³ linear extrapoliert (Abb. 4).

Größere Ereigniskubaturen werden nicht betrachtet, da deren Auftreten einerseits innerhalb der Nutzungsdauer des Recyclinghofes ungleich unwahrscheinlich ist (so wäre die extrapolierte Ereignisfrequenz eines 5 m³ Blockes 1 Ereignis/500 Jahre; vgl. Abb. 4) und andererseits die Schadwirkung dieser Kubaturen annähernd vergleichbar mit der des angenommenen Größtblockes von 2 m³ ist.

4. Schritt: Reichweite

Die Wahrscheinlichkeiten, mit welcher die Sturzblöcke der einzelnen Ereignismagnituden den Nutzraum, d.h. das Gelände des Recyclinghofes

inklusive Zufahrt, erreichen, wird mittels einer 3D-Simulation mit RAMMS::Rockfall ermittelt. Eine Ausnahme bildet die kleinste Ereignismagnitude 0,01 m³, welche aufgrund der geringen Größe nicht mit RAMMS::Rockfall simuliert werden kann. Die Reichweite dieser Blockgröße wird auf Basis der Ergebnisse der anderen Blockgrößen geschätzt.

Für die aktuelle Bestandssituation ohne Schutzverbauung beträgt die rechnerische Wahrscheinlichkeit, dass Sturzblöcke den Nutzraum erreichen, 100 %, da sich bereits die Ereignisfrequenzen implizit auf jene Sturzblöcke beziehen, die tatsächlich das Gelände des Recyclinghofes erreichen.

Um eine Vergleichbarkeit der Bestandssituation (ohne Schutzverbauung) zu weiteren Szenarien mit verschiedenen Kombinationen von Schutzmaßnahmen herzustellen, werden im Zuge einer ersten Bestandssimulation an Kontrollquerschnitten unmittelbar bergwärts des Nutzraumes die Blockdurchgänge ohne Schutzmaßnahmen ausgelesen. In der Folge werden Simulationen mit den in den verschiedenen Szenarien definierten Varianten von Schutzmaßnahmen (Vollverbauung, reduzierte Verbauung) durchgeführt.

Die Blockdurchgänge ohne und mit Schutzmaßnahmen werden getrennt für die drei Betriebsareale Zufahrt, Kundenbereich und Bürogebäude ausgewertet. Die reduzierte Reichweiten-Wahrscheinlichkeit einer Ereignismagnitude infolge einer Schutzverbauung ergibt sich aus dem Verhältnis der Blockdurchgänge mit und ohne Verbauung.

5. Schritt: Personentrefferwahrscheinlichkeit

Die Personentrefferwahrscheinlichkeit beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit welcher eine Person im Areal des Recyclinghofes im Falle eines Steinschlagereignisses von einem Sturzblock getroffen wird (räumliche und zeitliche Koinzidenz von Ereignis und Person). Sie setzt sich einerseits aus einer räumlichen, andererseits aus einer zeitlichen Wahrscheinlichkeit (Aufenthaltswahrscheinlichkeit) zusammen.

Die räumliche Trefferwahrscheinlichkeit beschreibt, wie wahrscheinlich ein Sturzblock tatsächlich eine Person (oder einen PKW oder ein Gebäude), welche sich auf dem Areal des Recyclinghofes inklusive Zufahrt befindet, trifft. Hierzu werden die Sturzblockgrößen in Relation zur lateralen Ausdehnung der einzelnen Nutzungsbereiche (Zufahrt, Kundenbereich, Bürogebäude) gesetzt.

Für das Bürogebäude des Recyclinghofes gilt zusätzlich, dass Personen im Gebäude nur zu Schaden kommen, wenn die Gebäudehülle durch einen Blocktreffer versagt. Zur Ermittlung von Gebäudeversagenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Ereignismagnitude wird die erwartbare Versagensfläche je Blockgröße geschätzt und mit der steinschlagexponierten Dachfläche in Relation gesetzt.

Die zeitliche Trefferwahrscheinlichkeit beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit welcher

sich Personen, d.h. sowohl Personal als auch Kunden, am Betriebsareal des Recyclinghofes aufhalten (Personenaufenthaltswahrscheinlichkeit). Diese Aufenthaltswahrscheinlichkeiten werden gemäß den Angaben der Gemeinde Längenfeld ermittelt:

- Am Recyclinghof sind zwei Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt (40 h/Woche). Davon ist ein Mitarbeiter im Außen- und Kundenbereich und ein Mitarbeiter im Bürogebäude tätig.
- Für die BürgerInnen der Gemeinde Längenfeld ist der Recyclinghof an fünf Tagen in der Woche für jeweils vier Stunden am Tag für die Wertstoffabgabe geöffnet. Dabei besuchen gemäß Angaben der Gemeinde durchschnittlich 80 Personen pro Öffnungstag den Recyclinghof.

Die Multiplikation der räumlichen Trefferwahrscheinlichkeit (beim Bürogebäude ist zusätzlich die Gebäudeversagenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen) und der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen ergibt die Personentrefferwahrscheinlichkeit, d.h. die Wahrscheinlichkeit einer zeitlichen und räumlichen Koinzidenz von Ereignis und Person.

6. Schritt: Vulnerabilität

Die Vulnerabilität (Verletzlichkeit) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit welcher eine Person im Falle eines Treffers zu Schaden kommt. Die Werte werden differenziert nach Blockgröße (Eignismagnitude) und dem Aufenthaltsort der Person am Betriebsareal (im PKW auf der Zufahrt / im Freibereich vor den Wertstoffcontainern / im Bürogebäude) geschätzt. Dabei wird nicht hinsichtlich des Schweregrads des Schadens unterschieden, d.h. ein Personenschaden kann sowohl eine

Verletzung als auch Tod bedeuten. Durch diese Betrachtung wird in der Folge nicht ein Todesfallrisiko sondern ein Personenschadensrisiko ermittelt. Dies stellt eine konservative Vereinfachung zur ÖGG-Empfehlung dar, welche ihr „Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren“ auf das akzeptable Todesfallrisiko bezieht.

Ergebnisse der Risikoanalyse

Die Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten gemäß Gl. (1) ergibt für jede Ereignismagnitude das entsprechende Personenschadensrisiko. Abbildung 5 zeigt diese Teil-Risikowerte je Ereignismagnitude, differenziert nach den verschiedenen Nutzungsbereichen des Recyclinghofes (Zufahrt, Kundenbereich, Bürogebäude). Die Summenbildung über alle betrachteten Ereignismagnituden (Addition aller Teilrisiken) ergibt das Gesamtrisiko (Abb. 6), das mit dem Betrieb des Recyclinghofes gemäß jeweiliger Szenariendefinition verbunden ist.

Aus Abb. 5 wird deutlich, dass das größte Personenschadensrisiko von der kleinsten Blockgröße ($0,01 \text{ m}^3$) mit hoher Ereignisfrequenz ausgeht – dies gilt vor allem für die Bestandssituation ohne Verbauung aber auch für eine reduzierte Verbauung. Selbst bei einer Vollverbauung mit zwei gestaffelten Netzreihen übersteigt das Personenschadensrisiko, welches allein aus der kleinsten Sturzblockgröße von $0,01 \text{ m}^3$ resultiert, das von der ÖGG-Empfehlung vorgegebene Schutzziel von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr. Kritischster Aufenthaltsort für Personen ist der Einwurfbereich vor den Wertstoffcontainern (Kundenbereich). Zurückzuführen sind die hohen Teilrisikowerte im Kundenbereich bei Magnitude $0,01 \text{ m}^3$ darauf, dass Personen hier den häufigen Kleinstereignissen schutzlos ausgesetzt sind.

Mit zunehmender Blockgröße steigt –

trotz zunehmender Seltenheit solcher Ereignisse – das Personenschadensrisiko im Bürogebäude des Recyclinghofes an. Die Gründe dafür sind einerseits, dass bei einem größeren Blocktreffer mit einem großflächigen Versagen der Dachkonstruktion gerechnet werden muss, andererseits die hohe Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Gebäude. Beide Faktoren zusammen führen zu einer hohen Personentrefferwahrscheinlichkeit.

Abb. 6 stellt die Gesamtrisiken der verschiedenen Szenarien dar. Hier zeigt sich, dass das Betreiben des Recyclinghofes am derzeitigen Standort – unabhängig von der Betriebsanordnung und des Ausmaßes der Schutzverbauungen – mit einem nicht akzeptablen Personenschadensrisiko einhergeht. Dies gilt selbst im Falle einer Vollverbauung mit zwei gestaffelten Netzreihen, bei welchem das Personenschadensrisiko das vorgegebene Schutzziel von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr immer noch um den Faktor 4 übersteigt.

Auf ein akzeptables Maß reduziert werden kann das Personenschadensrisiko lediglich durch eine Verlegung des Recyclinghofes auf das weiter südlich gelegene Areal bei gleichzeitiger Erhöhung des dort befindlichen Bestandsschutzdammes. Um das Schutzziel von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr gemäß ÖGG-Empfehlung gänzlich zu erfüllen, ist zudem eine Verlegung der Zufahrt oder aber ein Steinschlagschutz für die Bestandszufahrt erforderlich.

Umgesetzte Maßnahmen und Kostenvergleich

Im darauffolgenden Frühjahr wurde das Betriebszenario E3 umgesetzt, welches mit einem errechneten Personenschadenrisiko von rund $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr (vgl. Abb. 6) das Schutzziel gemäß ÖGG-Empfehlung (2014) erfüllt.

Die Gemeinde Längenfeld verlegte den Kundenbereich des Recyclinghofes (Wertstoffcon-

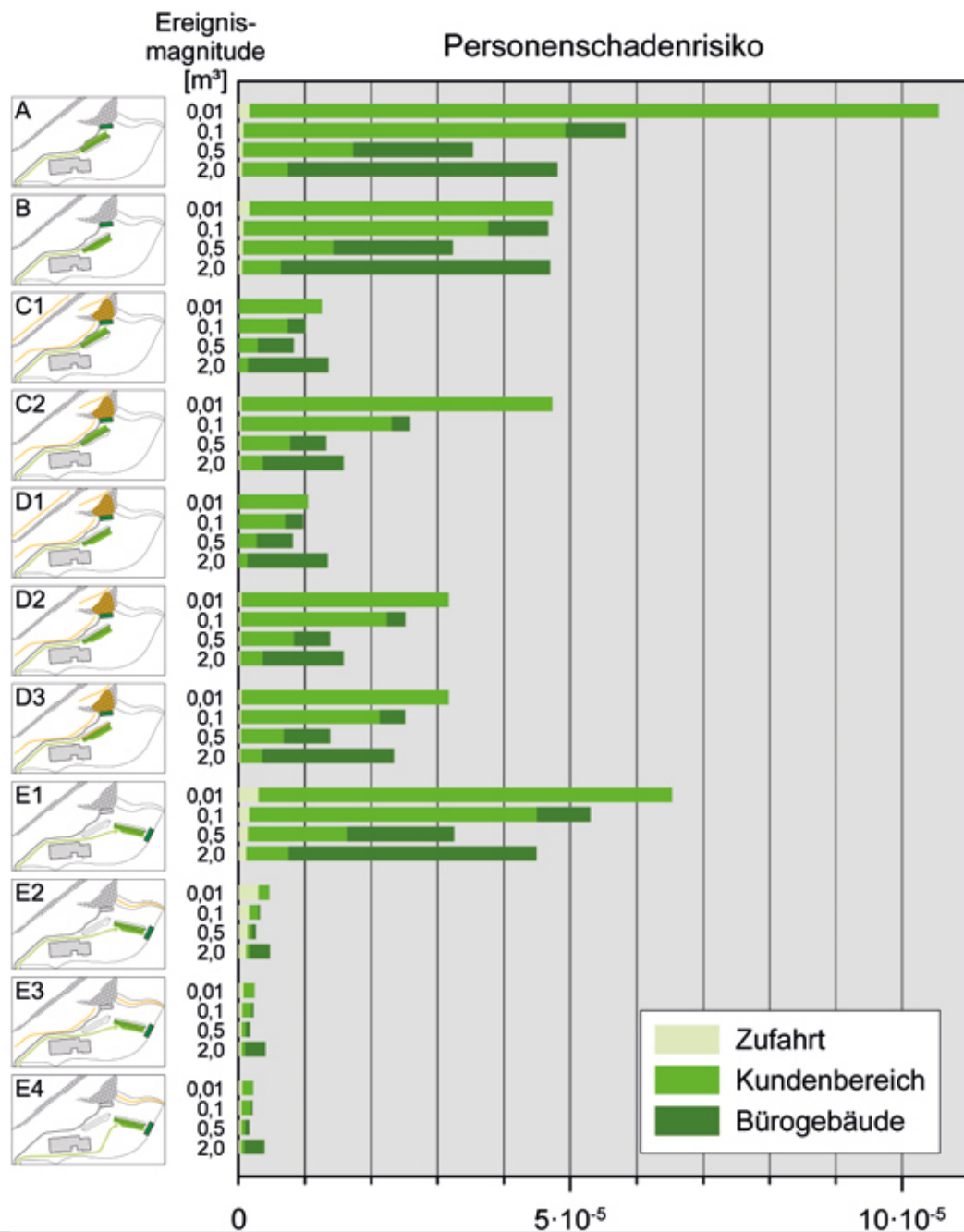


Abbildung 5: Untersuchte Betriebsszenarien und dazugehörige (Teil-) Personenschadensrisiken in Abhängigkeit der Sturzblockgröße (Magnitude) und des Aufenthaltsortes der Person.

Figure 5: Overview of the investigated scenarios and the associated partial probabilities (risks) of an injury to persons. The probabilities are depicted for each event magnitude and the different domains of the collection station (access road, customer area, office building).

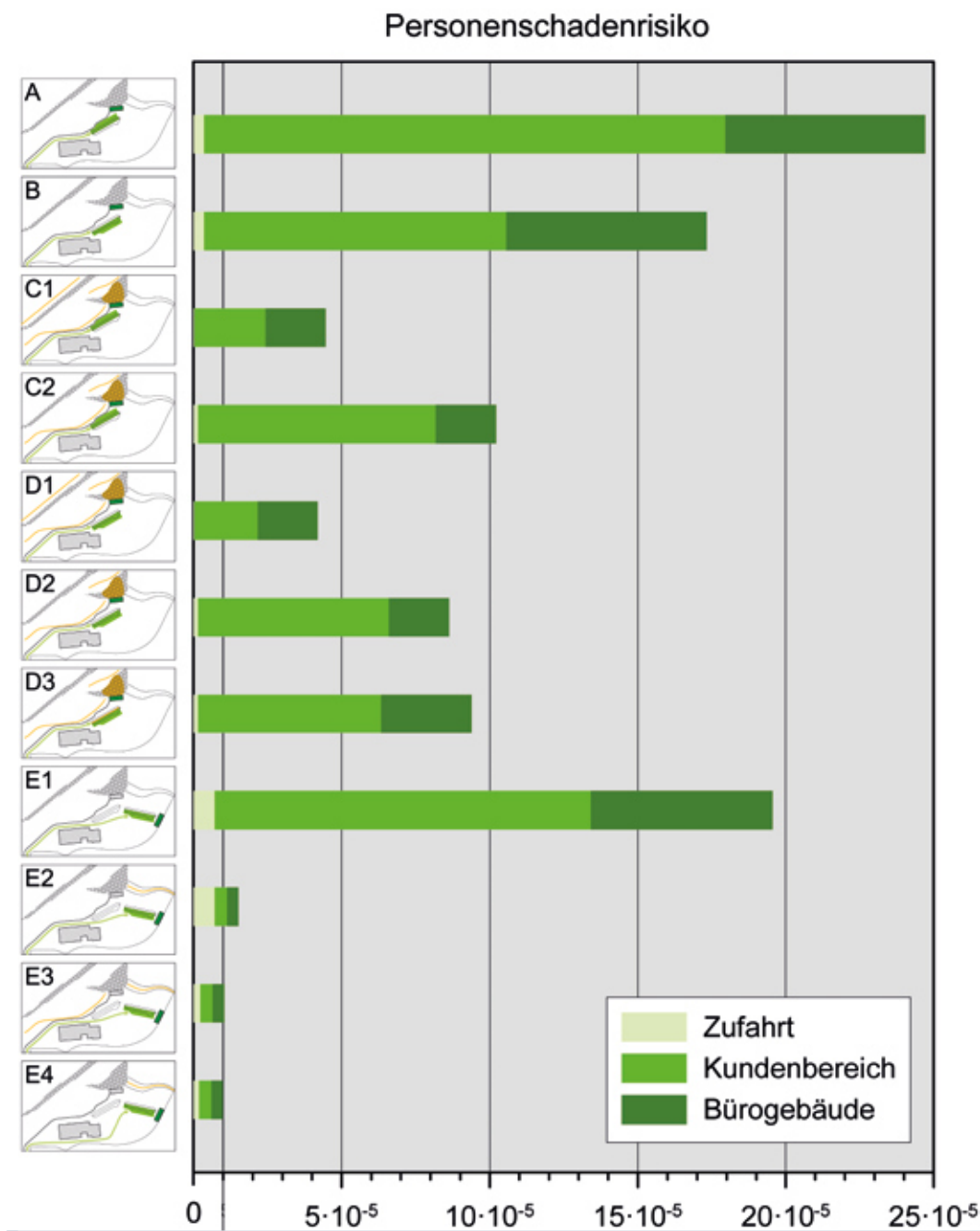


Abbildung 6: Gesamt-Personenschadensrisiken für die untersuchten Szenarien (mit ausgewiesenen Risikoanteilen in Abhängigkeit vom Aufenthaltsort).

Figure 6: Total probability (total risk) of an injury to persons, with risk portions of the different domains of the collection station (access road, customer area, office building).

tainer samt bestehendem Flugdach) auf das weniger steinschlagexponierte südlich angrenzende Areal; zusätzlich errichtete sie dort ein neues, bergseitig eingeschüttetes Bürogebäude (Abb. 7). Die Bestandszufahrt wurde belassen und zum neuen Areal weitergeführt. Das Bestandsbürogebäude wurde erhalten und für die Tierkadaver-Sammlung adaptiert. Die für die Verlegung und Adaptierungen anfallenden Aufwendungen von rund € 200.000,- wurden von der Gemeinde Längenfeld getragen.

Von der WLV Gebietsbauleitung Oberes Inntal wurde im selben Jahr der Bestandsdamm hinter dem neuen Recyclinghof-Areal auf einer Länge von 75 Metern ONR 24810-konform erhöht und ertüchtigt. Zum Schutz der Zufahrt wurde auf 160 Laufmetern ein Steinschlagschutznetz der Energieklasse 2.000 kJ mit einer Wirkhöhe von 4 Metern errichtet. Das der neuen Nutzung zugeführte ehemalige Bürogebäude wurde mit 50 Laufmeter Steinschlagnetz (2.000 kJ, 4 m) sowie 90 m² Felsvernetzung geschützt. Des

Weiteren wurden die im Zuge der Bauarbeiten gerodeten Flächen wiederaufgeforstet. Die Gesamtkosten für die von der WLV errichteten Schutzmaßnahmen beliefen sich auf € 355.000,-. Davon entfielen rund € 75.000,- für die Baustelleneinrichtung (Rodung, Wegerschließung, Wiederaufforstung, etc.), € 245.000,- für die Errichtung der Steinschlagschutznetze und € 35.000,- für die Erhöhung des Bestandsdammes. Diese Kosten wurden zu 45 % von der Gemeinde Längenfeld (Interessentenbeitrag) und zu 55 % von Bund und Land finanziert.

Die von der Gemeinde Längenfeld aufzubringenden Mittel – einerseits für die Verlegung des Recyclinghofes (100 %), andererseits für die von der WLV umgesetzten Schutzmaßnahmen (45 %) – beliefen sich auf rund € 360.000,-.

Insgesamt entstanden im Rahmen des Projektes Kosten von rund € 550.000,-. Diese stehen 1,5 Mio. Euro Baukosten für den bestmöglichen technischen Steinschlagschutz am Bestandsstandort gegenüber.



Abbildung 7: Luftaufnahmen vor und nach der Verlegung des Recyclinghofes. Quelle: Luftbildatlas Tirol, Befliegungen 2010 und 2018.

Figure 7: Aerial images taken before and after the relocation. Source: Luftbildatlas Tirol, flights 2010 and 2018.

Fazit

Der Fall Recyclinghof Längenfeld zeigt anschaulich, dass das Aufgeben eines steinschlaggefährdeten Standortes aus wirtschaftlicher als auch aus gesellschaftlich-sozialer Perspektive sinnvoll sein kann. Durch die Verlegung der Anlage wurden nicht nur beträchtliche Kosten gespart (rund 1 Mio. Euro), sondern auch mehr Sicherheit für die Bevölkerung geschaffen.

Das Aufgeben von Standorten und damit verbundene Umsiedelungen sind stets mit beträchtlichen finanziellen und organisatorischen Anstrengungen verbunden. Wenn Wohngebäude betroffen sind kommt häufig der emotionale Aspekt hinzu. Eine fundierte quantitative Risikoanalyse, welche die menschliche Unversehrtheit in den Vordergrund stellt, kann hier – abseits von allen wirtschaftlichen Betrachtungen – sowohl für öffentliche Entscheidungsträger als auch für Privatpersonen eine wichtige Entscheidungshilfe bieten.

Anschrift der VerfasserInnen/Authors' addresses:

Dr. Daniela Engl
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
daniela.engl@die-wildbach.at

Ing. Mag. Dr. techn. Thomas Sausgruber
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
thomas.sausgruber@die-wildbach.at

Mag. Michael Mölk
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
michael.moelk@die-wildbach.at

Ing. Michael Posch
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberes Inntal
Langgasse 88, 6460 Imst
michael.posch@die-wildbach.at

Literatur/References:

- ENGL D. (2015). Anwendung von 3D-Simulationen für die szenarienbasierte Risikobewertung von Steinschlag. Unveröff. Facharbeit Grundausbildung Wildbach- und Lawinenverbauung. Innsbruck 04.12.2015, 40 S. zuzgl. Berechnungstabellen.
- MÖLK M. & ENGL D. (2015). Recyclinghof Gemeinde Längenfeld – Risikostudie für Steinschlagprozesse. Gutachten der Geologische Stelle der WLV vom 07.08.2015.
- NITTEL P. (2011). Blocks Schlag Recyclinghof, Gemeinde Längenfeld: Geologische Stellungnahme. Gutachten der Landesgeologie Tirol vom 12.7.2011.
- NITTEL P. & THÖNY W. (2015). Gemeinde Längenfeld: Blockssturz im Bereich des Recyclinghofes am 30.3.2015. Gutachten der Landesgeologie Tirol vom 13.4.2015.
- ÖSTERR. GESELLSCHAFT FÜR GEOMECHANIK (2014). Empfehlungen für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren in Österreich. 16 S.
- ONR 24810 (2020). Technischer Steinschlagschutz - Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung.
- SAUSGRUBER T. (2015). Stein- und Blocks Schlag Recyclinghof Längenfeld. Gutachten der Geologische Stelle der WLV vom 30.4.2015.