



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:

ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS MURGANG

Hans Romang, Michael Bründl



Chummerbach Davos, Ereignis vom 15.8.98 (K. Eberle, Gemeinde Davos)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:

Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts

Prozess Lawine

Prozess Hochwasser

Prozess Murgang

Prozess Sturz

Prozess spontane Rutschung / Hangmuren

Prozess permanente Rutschung

Prozess Erdbeben

Prozess Sturm

Prozess Hagel

Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Murgänge anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzprojekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Murgang charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses «Murgang»

Ein Murgang (auch Mure oder Rufe genannt) ist ein breiartiges, oft schnell fließendes Gemenge aus Wasser und Feststoffen (Sand, Kies, Steine, Blöcke, Holz) mit einem hohen Feststoffanteil von circa 30 bis 60 %. Murgänge treten in sehr steilen Wildbachgerinnen mit einer Neigung von mindestens 25 bis 30 % auf. Sie können das Gerinne verlassen und sich dabei seitlich ausbreiten [53].

Ein Murgang vermag grosse Geschiebe- und Geröllmassen (Blöcke von mehreren m³ Volumen, Baumstämme, Autos usw.) umzulagern (Abbildung 1.1(a)). Dadurch besitzen Murgänge ein erhebliches Zerstörungspotential und können neben Gebäuden, Verkehrsachsen (Abbildung 1.1(a)) und Infrastruktur auch Personen in Gebäuden gefährden [53].



Abbildung 1.1: Murgänge haben ein grosses Zerstörungspotential für Gebäude und können Personen auf Verkehrswegen betreffen. Foto: Gemeinde Susch (a); M. Bründl (b).

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Murgang

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Die Gefährdung wird aufgrund von Spuren früherer Ereignisse, der Einträge im Ereigniskataster, der Analyse im Gelände, der Erhebung des Geschiebepotentials und des Gerinnegefälles beurteilt [53]. Die Ereignisdokumentation ist das wichtigste Instrument zur Analyse vergangener Murgangereignisse. Darin sind Prozesstyp, Ausmass, Ursache, Wirkungsbereich sowie die Schäden dokumentiert. Extremereignisse spielen eine massgebende Rolle, um sich einen Überblick über die Gefahrensituation durch Murgänge im Projektperimeter zu verschaffen. Der Einbezug lokaler Erfahrungen ist ebenfalls sehr hilfreich, da Murgänge häufig ähnliche Ereignisverläufe nehmen, was in Erfahrungsberichten dokumentiert sein kann.

In der Geländeanalyse wird die Disposition u.a. durch Erhebung der 'stummen Zeugen' ermittelt. Das Ergebnis wird in der Karte der Phänomene dargestellt.

Da Murgänge durch langandauernde oder heftige Niederschläge, Hagelschlag oder eine intensive Schneeschmelze ausgelöst werden, ist die Häufigkeit und die mögliche Intensität dieser Prozesse zu beurteilen. In diesem Zusammenhang müssen die saisonale Niederschlagsverteilung, die vorherrschende Windsysteme und die typischen Wetterlagen berücksichtigt werden.

Die Auswertung dieser Grundlagen erlaubt, zusammen mit allfälligen weiteren Informationen und entsprechend dem aktuellen Stand des Wissens, die Festlegung der massgebenden Ereignisszenari-

en als Resultat der Ereignisanalyse. In der Praxis der Gefahrenkartierung werden solche Szenarien für Jährlichkeiten von 30, 100 und 300 Jahren formuliert [47]. Wenn sich die Auswirkungen eines noch selteneren Ereignisses von denen des 300-jährlichen Ereignisses deutlich unterscheiden, kann es Sinn machen, auch ein Szenario mit einer Jährlichkeit grösser als 300 Jahre vorzuschlagen (analog EHQ). Ebenso können Szenarien mit kürzeren Jährlichkeiten (z.B. 1 bis 10 Jahre) sinnvoll sein. Die Wahl der für die Risikobeurteilung als relevant erachteten Szenarien muss mit dem Auftraggeber abgesprochen werden und ist entsprechend zu begründen.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

Die Abschätzung der Intensität wird heute vermehrt unter Zuhilfenahme von dynamischen Modellen durchgeführt. Da aber die Prozesskenntnisse bei Murgängen noch weniger weit fortgeschritten sind als in anderen Bereichen, ist die Bedeutung der Modellierungen geringer als etwa bei den Lawinen. Die Intensität von Murgängen wird vorläufig durch die Grössen Geschwindigkeit und Übermurungshöhe definiert. In Anlehnung an die Empfehlungen des Bundes [47] werden die folgenden Intensitätsklassen festgelegt (Tabelle 1.1):

Tabelle 1.1: Definition Intensitätsklassen für den Prozess Murgang. Der Parameter h bezeichnet die Mächtigkeit der Murgangablagerung und v die Fließgeschwindigkeit des Murgangs [47].

Intensitätsklasse	Kriterien
schwache Intensität	nicht definiert
mittlere Intensität	$h < 1\text{ m}$ oder $v < 1\frac{\text{m}}{\text{s}}$
starke Intensität	$h > 1\text{ m}$ und $v > 1\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Sofern Berechnungsmodelle verwendet werden, sollten die Ergebnisse mit den Erfahrungen vergangener Ereignisse (Dokumente, Zeugenaussagen, Erfahrung von Experten etc.) sowie mit der realen Situation im Gelände verglichen bzw. überprüft werden. Werden Differenzen festgestellt, sind diese zu plausibilisieren und gegebenenfalls sind die Modellresultate anzupassen.

Bei der manuellen Korrektur der Simulationsergebnisse sind auch mögliche Ungenauigkeiten der Modellierung in Bezug auf die Inputdaten zu berücksichtigen. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, sollten die manuellen Korrekturen im Bericht dokumentiert werden. Diese finale Überprüfung ist für die Ermittlung des Risikos von entscheidender Bedeutung.

Die Ergebnisse der Ereignis- und Wirkungsanalyse werden kartographisch dargestellt. Aus der Gefahrenanalyse resultieren somit Intensitätskarten für den Prozess Murgang.

1.2.2 Expositionsanalyse

Murgänge können durch ihre Zerstörungskraft Gebäude, Infrastruktur, Verkehrswege, ober- und unterirdische Leitungen, Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Grün- und Erholungsflächen betreffen. Ebenso können Personen innerhalb und ausserhalb von Gebäuden durch Murgänge gefährdet sein. Können in einem gefährdeten Gebiet zahlreiche Personen anwesend sein, dann ist die Ausscheidung von Expositionssituationen zu beurteilen. Mit der Ausscheidung von Expositionssituationen können Risikospitzen besser abgebildet werden.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Da Murgänge hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit und ihres Feststoffanteils grosse Unterschiede aufweisen können, bestehen bezüglich den Parametern Schadenempfindlichkeit und Letalität erhebliche Unsicherheiten. Die Ergebnisse des Projekts B5 «Verletzlichkeit» zeigen anhand von Fallbeispielen auf, wie gross diese Unsicherheiten sein können [74].

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit ist ebenfalls mit grossen Unsicherheiten behaftet, da Murgänge neben dem Gerinne auch seitlich davon gelegene Gebiete betreffen können. Murgänge zu verschiedenen Zeiten können auf dem Ablagerungskegel unterschiedliche Gebiete betreffen. Die Wahrscheinlichkeit mit der ein Gebiet durch einen Murgang betroffen werden kann, wird durch den Faktor räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit $p(rA)$ in der Berechnung des Schadenmasses modellhaft abgebildet. Die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit müssen für den Einzelfall überprüft und angepasst werden. Als erste Annäherung können jedoch die entsprechenden Werte aus EconoMe übernommen werden. Die Unsicherheit sollte jedoch in der Risikobestimmung klar dargestellt werden.

1.3 Risikobewertung beim Prozess Murgang

s.a. Teil A, S. 39ff

Da beim Prozess Murgang Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen Personen- und Sachrisiken bewertet werden. Bei den Personen sind jeweils die individuellen und die kollektiven Risiken zu beurteilen.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung beim Prozess Murgang

s.a. Teil A, S. 49ff

Die heute möglichen und gebräuchlichen Massnahmen zur Reduktion von Murgangrisiken können gemäss Tabelle 1.2 typisiert werden. Dabei fehlen, mit Ausnahme der Umsiedlung, die raumplanerischen Massnahmen, welche, wie im Teil A dargelegt, nicht nach diesem Verfahren beurteilt werden. Grundsätzlich gilt, dass jeder der aufgelisteten Massnahmentypen eine relevante Wirkung entfalten kann, dass aber diese Wirkung für den Einzelfall zu quantifizieren ist.

Anmerkung: Massnahmen zur Hangstabilisierung spielen bei der Murgangauslösung ebenfalls eine wichtige Rolle. Sie werden aber bei den Rutschprozessen behandelt. Eine weitere mögliche Überschneidung betrifft die Massnahmen, welche bei den Hochwasserrisiken behandelt werden.

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im PLANAT-Projekt «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von

Tabelle 1.2: Gliederung der Schutzmassnahmen bei Murgängen.

Technische Massnahmen	Biologische Massnahmen
Konsolidierungssperren	Schutzwaldpflege
Längsverbau, Sohlensicherung	Organisatorische Massnahmen
Geschiebesammler	Warnsysteme
Geschieberückhalt offen (z.B. Murbremsen)	Evakuierung und Sperrung
Holzrückhalt	Intervention und Rettung
Leit- / Ablenkdamme	Raumplanerische Massnahmen
Kanal	Umsiedelung
Objektschutz	Nutzungsbeschränkung

Sperren, Sperrentreppen und von Geschieberückhaltebauwerken in Wildbächen entwickelt [61]. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares und transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung jeglicher baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Wildbachbereich kaum gesicherte Grundlagen. Sie sind immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Gleichung 5.1 (Teil A, Seite 57) bestimmt. Für die Investitionskosten existieren gegenwärtig keine Richtwerte; diese müssen im Einzelfall bestimmt werden. Ebenso gibt es für die Bestimmung der jährlichen Betriebs- und Unterhalts- und Reparaturkosten keine allgemeinen Werte. Die Werte müssen daher im Einzelfall erhoben und dokumentiert werden.

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60).

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach dem Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Neben den ökonomischen Kriterien sind weitere, auch sogenannte «weiche» Faktoren in den Entscheid einzubeziehen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse auf dem aktuellen Stand bezüglich einwirkenden Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die zeitliche Entwicklung eines Raumes nicht abgebildet. Da die Wirkung von Massnahmen gegen Murgänge die zeitliche Gültigkeit einer Risikoanalyse überschreitet, ergeben sich mit zunehmender Laufzeit Differenzen zwischen der Schutzwirkung von Massnahmen und dem sich daraus ergebenden Nutzen. Diese Entwicklung kann im Einzelfall nach Absprache mit dem Auftraggeber in den Massnahmenentscheid einbezogen werden. In jedem Fall ist darauf zu achten, dass der Einbezug einer Entwicklung klar als solche gekennzeichnet wird.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Chummerbach, Landschaft Davos, Kanton Graubünden

2.1 Einleitung

Als Fallbeispiel für den Prozess Murgang wird der Chummerbach in der Fraktion Glaris der Landschaft Davos gewählt. Der für die Beurteilung massgebende Raum umfasst das gesamte Einzugsgebiet und den Kegel des Chummerbaches bis zum Vorfluter Landwasser.

Der Chummerbach trat am 15.8.1998 über die Ufer und verursachte an Gebäuden, Bahn, Strasse und Kulturland Schäden von knapp 4 Mio. CHF. Nach diesem Ereignis wurde in einer Studie abgeklärt, ob und welche Schutzmassnahmen zu treffen sind [59, 60]. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dieser Studie. Es wird von einem unverbauten Zustand ausgegangen. Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zeigt Abbildung 2.1.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

2.2.1.1 Topographie

Der Chummerbach ist NW - SE - orientiert und entwässert ein Gebiet von 5.94 km². Den höchsten Punkt des Gebietes bildet die Amselfluh (2771 m ü. M.), den tiefsten die Einmündung ins Landwasser (1472 m ü. M.). Das Hauptgerinne ist sehr regelmässig ausgeprägt (keine markanten Richtungsänderungen, keine Gefällsknicke) und verläuft zum grössten Teil im Lockermaterial. 80 % der Fläche des Gebietes liegen zwischen 1900 und 2550 m ü. M. , die mittlere Höhe beträgt rund 2300 m ü. M. . Über 80 % der Fläche ist zwischen 10 und 40 % geneigt, der Mittelwert liegt bei ca. 25 %.

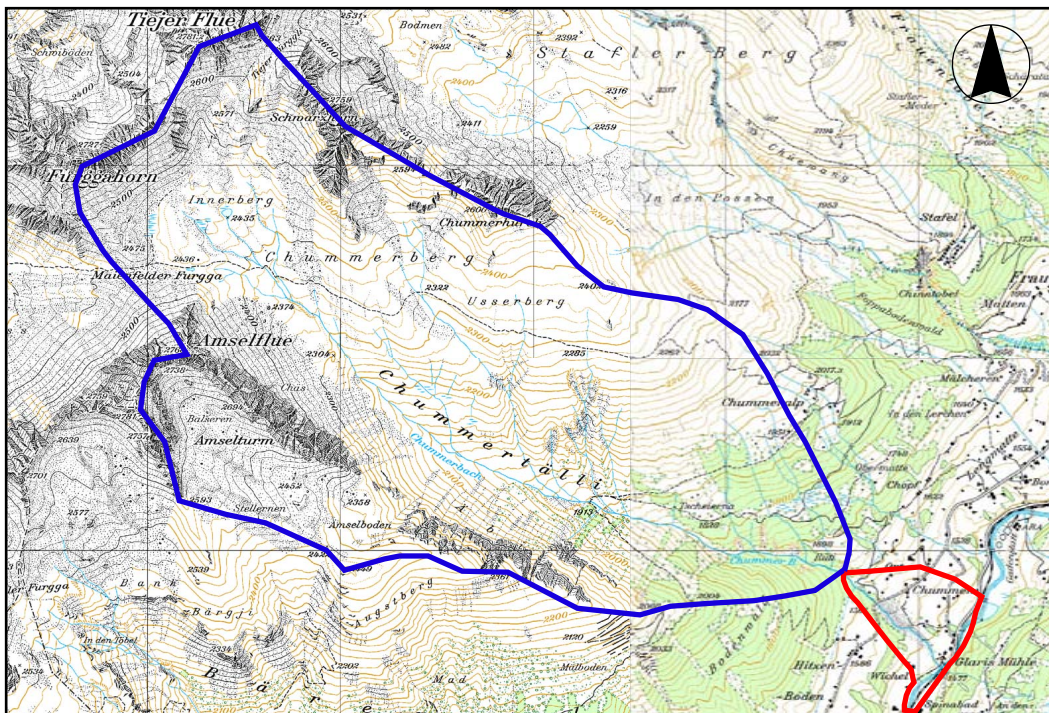


Abbildung 2.1: Untersuchungsgebiet Fallbeispiel Chummerbach, Davos-Glaris, Kanton Graubünden. Die blaue Linie deutet das Einzugsgebiet an, die rote Linie den Beurteilungsperimeter für die risikobasierte Massnahmenplanung. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.2.1.2 Geologie - Geomorphologie - Vegetation

Der Chummerbach verläuft entlang markanter geologischer und geomorphologischer Wechsel. Rechtsseitig stehen Kalkeinheiten an (vorwiegend Ladinien (mittlere Trias) der Silvretta - Decke), die steile Felswände («Amselfluh») und ausgedehnte Schutthalden aufbauen. Das Gebiet ist kaum zerrunzt, was auf die hohe Durchlässigkeit des Schuttes und wohl auch des felsigen Untergrundes hinweist (Karsterscheinungen sind in südwestlich anschliessenden Gebieten bekannt). Linksseitig hingegen ist das Gebiet deutlich flacher und grossflächig mit Moränen überdeckt. Nur stellenweise ist der Fels aufgeschlossen (z.B. «Roter Graben»). Anstehend sind die Einheiten der Silvretta-Decke aus dem späten Perm und der frühen Trias: Quarzporphyr, Buntsandstein, Verrucano, etc. Das recht dichte Gerinnenetz und die Rutsch- und Kriechbewegungen besonders im vorderen Teil (unterhalb «Chummeralp») weisen auf schlecht durchlässige Boden- und Untergrundverhältnisse oder geringes Speichervermögen hin.

Wald stockt beidseitig bis auf eine Höhe von rund 1950 m ü. M. oder auf knapp 10 % der Fläche (gemäss LK25 0.52 km²). Das übrige Gebiet besteht linksufrig aus extensiv genutzten Alpweiden und ist rechtsufrig infolge der geologischen und geomorphologischen Verhältnisse eher spärlich bewachsen.

2.2.1.3 Niederschlag

Aus den Daten des hydrologischen Atlas der Schweiz kann für ein 2.33-jährliches Ereignis ein 24 h Niederschlagswert von 48 mm und für ein 100-jährliches Ereignis ein 24 h Niederschlagswert von 106 mm abgeleitet werden.

2.2.1.4 Ereigniskataster

Ein Ereignis wird aus dem Jahre 1937 überliefert (mündl. Mitteilung G. Conrad, Alt-Revierförster, Glaris). Dieses Ereignis dürfte jedoch kleiner als das von 1998 gewesen sein. Weitere Ereignisse konnten nicht eruiert werden. Massgebend für die Beurteilung war das Ereignis vom 15.8.1998, welches eingehend untersucht wurde (Bericht Tiefbauamt GR, Fluss- und Wildbachverbau). Ein 2-stündiger Niederschlag (ca. 50 mm/h) löste murgangartige Abflüsse aus, welche rund 50'000 m³ Geschiebe auf dem Kegel abgelagerten. Ein Ereignis dieser Grössenordnung darf im Chummerbach als (sehr) selten bezeichnet werden.

2.2.1.5 Abflussbestimmung

Mit verschiedenen Methoden wurden die Abflusswerte für die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich bestimmt. Für das HQ₁₀₀ wurden folgende Werte ermittelt (Tabelle 2.1):

Tabelle 2.1: Berechnete Abflusswerte für das HQ₁₀₀ nach verschiedenen Methoden.

Abfluss [m ³ /s]	Methode
14.97	Kölla, 1986
13.1	Laufzeitverfahren (Forster, 1992)
21	Statistische Analyse
20-40	Ereignis 15.8.1998
16-18	massgebender Wert HQ ₁₀₀

Der Höchsthochwasserabfluss wurde nach der Methode von Melli-Müller (Böll, 1997) mit 32.5 m³/s bestimmt. Für die Abschätzung des HQ₃₀₀ wurde der HQ₁₀₀-Wert mit dem Faktor 1.3 multipliziert und ein Bereich von **21-25 m³/s** festgelegt. Der Abfluss für das 30-jährliche Ereignis wurde auf der Basis der Abschätzung nach Kölla für das HQ₂₀ und des Wertes für das HQ₁₀₀ auf 12-13 m³/s festgesetzt.

2.2.1.6 Feststoffpotential

Das Feststoffpotential wurde nach dem Verfahren von Lehmann [46] beurteilt (Tabelle 2.2). Für das Ereignis 1998 wurde die Feststofffracht am Kegelhalbs anhand der geomorphologischen Spuren auf 42'000 m³ geschätzt. Die in der Tabelle gezeigten Abschätzungen liegen damit in einem realistischen Bereich. Für die Szenarien sind leicht erhöhte Werte im Sinne einer Sicherheitsreserve angebracht.

Tabelle 2.2: Geschätzte und berechnete Abfluss- und Feststoffmenge für die Szenarien 30-, 100- und 300-jährliches Ereignis.

Jährlichkeit	Abfluss [m ³ /s]	Faktor zu HQ ₁₀₀	Geschiebefracht [m ³]	Bemerkungen
30	13	0.7	20'000	gutachtlich reduziert
100	18	1.0	36'000	Mittelwert, erhöht
300	24	1.3	45'000	abgerundet

Das Schwemmholtzpotenzial ist im Chummerbach weniger gross als in anderen Bächen. Nur ein kleiner Teil der Bacheinhänge ist bewaldet. Diese können allerdings im Ereignisfall leicht destabilisiert werden. Da sich die bewaldeten Partien zudem in der Nähe des Kegelhalses und somit nahe der Schwachstellen befinden, war die Holzproblematik bei der Gefahrenbeurteilung zu berücksichtigen.

2.2.1.7 Beurteilungsszenarien

In Anlehnung an die Empfehlungen zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren für raumwirksame Tätigkeiten [47] wurden die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich als massgebende Szenarien festgelegt.

Szenario 30-jährliches Ereignis: Ein Murgang wird aufgrund des doch eher flachen Gefälles ausgeschlossen. Es wurde mit fluvialem Geschiebetransport gerechnet. Die entsprechenden Grössen sind $HQ_{30} = 12 - 13 \text{ m}^3/\text{s}$ und die Geschiebefracht = 20'000 m³. Mit einer Verklauung der Brücken wurde nicht gerechnet.

Szenario 100-jährliches Ereignis: Es wurde mit einem Murgang mit einer Gesamtkubatur von 40'000 – 45'000 m³ gerechnet, der in mehreren Schüben (von max. 15'000 m³, meist kleiner) abfließt. Eine Verklauung der Hitzenbodenbrücke und ein nachfolgender Ausbruch links ist sehr wahrscheinlich. Es jedoch auch möglich, dass ein Teil der Massen (max. 50 %) bis zur Einmündung ins Landwasser vorstösst und hier infolge Rückstau und / oder Verklauung der Brücke zum Ausbruch führt. Weiter sind auf dem Kegel / im Gerinne Erosionsprozesse wie beim Ereignis von 1998 zu erwarten.

Szenario 300-jährliches Ereignis: Es wurde mit einem Murgang von 50'000 – 60'000 m³ gerechnet. Sowohl bei der Hitzenbodenbrücke wie auch bei der unteren Brücke / der Einmündung ins Landwasser sind grössere Ausbrüche wahrscheinlich. Weiter sind auf dem Kegel / im Gerinne Erosionsprozesse wie beim Ereignis von 1998 zu erwarten.

2.2.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wurden für die festgelegten Szenarien die Gefahrenbereiche bestimmt. Diese Abgrenzung erfolgte für die verschiedenen Szenarien rein gutachtlich im Gelände. Wichti-

ge Grundlagen dafür war eine Analyse der Schwachstellen im Gerinne, das Ereignis 1998 sowie detaillierte Geländearbeit. Es resultierten Intensitätskarten für das 30-, 100- und 300-jährliche Szenario (Abbildung 2.2). Ein Extremszenario wurde nicht gesondert ausgeschieden, da im Vergleich zum 300-jährlichen Szenario keine wesentliche Veränderung der Gefahrensituation erwartet wurde.

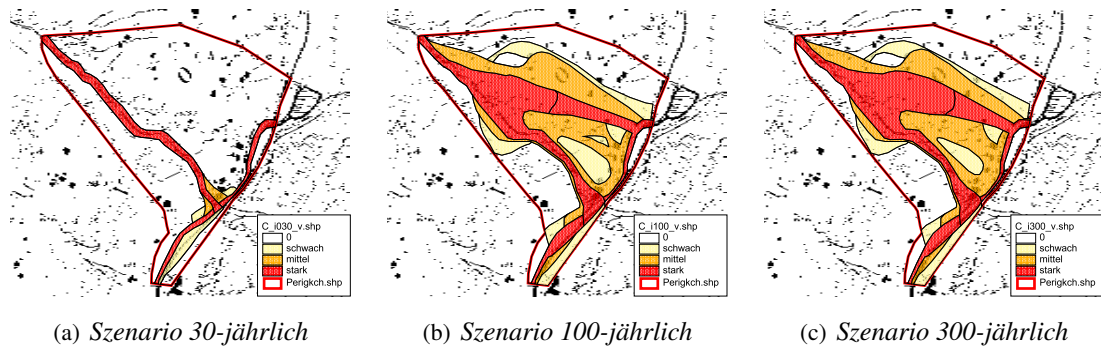


Abbildung 2.2: Intensitätskarten Fallbeispiel Chummerbach. Ausgangssituation für ein 30-, (a), 100-, (b) und 300-jährliches Szenario (c). © 2008 swisstopo (JD082774).

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Die potentiell betroffenen Objekte im Beurteilungsperimeter wurden nummeriert und anhand der Objekteigenschaften klassifiziert und bestimmt. Die Festlegung der Personenbelegung wurde anhand von Abschätzungen aus einer Geländebegehung vorgenommen. Es sind folgende Objekte exponiert (Tabelle 2.3 und 2.4):

Tabelle 2.3: Exponierte Verkehrswege und Flächenobjekte im Beurteilungsperimeter Chummerbach.

Anzahl	Typ
700 m	Bahnlinie RhB
700 m	Kantonsstrasse
800 m	Erschliessungs-, Gemeindestrassen
1100 m	Forstwege u.ä.
2000 are	Landwirtschaftsfläche

Tabelle 2.4: Exponierte Gebäude in Beurteilungsperimeter Chummerbach.

Nr.	Typ/Nutzung	Bauart/Material	Anzahl Personen
1	Viehstall	Beton, Mauerwerk und Holz	0
2	Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	6
3	Schuppen	Holz	0
4	kleines Ferienhaus	Holz	2
5	Schuppen	Beton und Holz	0
6	Viehstall, unbenutzt	Holz	0
7	Viehstall, unbenutzt	Holz	0
8	Viehstall, unbenutzt	Mauerwerk und Holz	0
9	Trafostation	Beton und Holzverschaltung	0
10	Ferienhaus ^a	Mauerwerk und Holz	4
11	Viehstall	Mauerwerk und Holz	0
12	Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	6
13	Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	8
14	Schuppen	Holz	0
15	Sägerei	Holz	2
16	Wohnhaus und Stall	Mauerwerk und Holz	8
17	Wohnhaus und Stall	Mauerwerk und Holz	6
18	Schuppen	Mauerwerk und Holz	1
19	Schuppen	Mauerwerk und Holz	1
20	Restaurant und Wohnhaus	Mauerwerk	15 ^b
21	Restaurant und Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	6
	Summe Personen		65

^a wurde durch Ereignis zerstört, konnte aber wieder aufgebaut werden;

^b Personenzahl schwankt stark; der mittlere Wert wird mit 15 Personen angenommen.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen in Gebäuden

Wie in Tabelle 2.4 dargestellt, sind im Beurteilungsperimeter im Mittel 65 Personen exponiert. Die grössten Schwankungen in der Personenanzahl waren im Restaurant auszumachen. Die Personenzahl kann zwischen 6 im Minimum und 50 Personen im Maximum schwanken. Um diese Schwankung zu berücksichtigen, könnten Expositionssituationen ausgeschieden werden. Da im konkreten Fall das Gebäude vor allem durch Überflutung gefährdet ist und die Gefährdung von Personen in Gebäuden sehr klein ist, wurde in diesem Fallbeispiel darauf verzichtet. Es wurde daher mit einem mittleren Belegung von 15 Personen in diesem Gebäude gerechnet. In den übrigen Gebäuden wurde die Anzahl von Personen gemäss Tabelle 2.4 angenommen.

Da in den exponierten Gebäuden nicht immer alle Personen anwesend sind, wurde eine Präsenzzeit von 18 Stunden pro Tag während 365 Tagen angenommen. Daraus errechnete sich eine Präsenzwahrscheinlichkeit $p(pr)$ von 0.75, die für alle Gebäude angenommen wurde.

2.3.3 Ermittlung der exponierten Personen auf Verkehrswegen

Neben den Personen in Gebäuden sind auch Personen auf der Bahnlinie der RhB sowie auf der Kantons- bzw. Gemeindestrasse exponiert. Die Präsenzwahrscheinlichkeit dieser Personen ergab sich aus der Frequenz von Fahrzeugen auf der Strasse bzw. von Zügen, der Länge des gefährdeten Abschnitts und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs im gefährdeten Abschnitt. Zusätzlich musste bei Zügen die Zuglänge berücksichtigt werden. Die massgebenden Faktoren für die Berechnung des Schadenausmasses (mit Ausnahme von Schadenempfindlichkeit und Letalität) sind in Tabelle 2.5 dargestellt.

Tabelle 2.5: Massgebende Faktoren zur Bestimmung des Schadenausmasses auf Strasse und Schiene für das Beispiel Chummerbach.

Parameter	Anzahl/Wert
β (Kantonsstrasse) [-]	2
β (Gemeindestrasse) [-]	1
v (Kantonsstrasse) [km/h]	60
v (Gemeindestrasse) [km/h]	30
DTV (Kantonsstrasse) [-]	2000
DTV (Gemeindestrasse) [-]	150
β (Bahn) [-]	50
v (Bahn) [km/h]	50
Fz (Bahn) [-]	32

2.3.4 Schadenpotential im Beurteilungspereimeter

Das Schadenpotential für Sachwerte wird auf rund 22 Millionen CHF geschätzt (ohne Personen). Werden die exponierten Personen mit 5 Millionen CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert, dann beträgt das Schadenpotential rund 347 Millionen CHF. Als Grundlage für die Quantifizierung der Objekte wurde auf die Durchschnittswerte aus EconoMe abgestützt [8].

2.4 Konsequenzenanalyse

Die Berechnung des Schadenausmasses erfolgte für vier Objektgruppen:

1. Schadenausmass fixe Objekte (Gebäude)
2. Schadenausmass für Personen in Gebäuden
3. Schadenausmass Sachwerte Verkehrsachsen (Strasse und Schiene)
4. Schadenausmass Personen auf Verkehrswegen (Strasse und Schiene)

Fixe Objekte und Personen in Gebäuden: Für die Bestimmung des Schadenausmasses wurde anhand der Intensitätskarten und der Lage der fixen Objekte überprüft, ob das Objekt betroffen ist und welche Intensität für ein bestimmtes Szenario angenommen wurde. Dementspre-

chend erfolgte die Zuordnung. Die für die Bestimmung des Schadenausmasses notwendigen Faktoren räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen in Gebäuden, Schadenempfindlichkeit und Letalität wurden in Anlehnung an die Werte in EconoMe übernommen (Tabelle 4.1, Seite 32ff).

Mobile Objekte auf Verkehrsachsen sowie Personen in mobilen Objekten: In diesem Schritt wurde überprüft, welcher Streckenabschnitt der Strasse bzw. Bahnlinie in welcher Intensitätszone liegt. Damit wurde in einem Schritt einerseits das Schadenausmass bezüglich Personen, andererseits das Schadenausmass Sachwerte der variablen Objekte berechnet. Da keine gesicherten Grundlagen zur Verfügung standen, wurden die Berechnungsfaktoren in Anlehnung an die Werte in EconoMe verwendet und aufgrund der lokalen Gegebenheiten überprüft (Werte EconoMe, siehe Tabelle 4.1, Seite 32ff).

Das Schadenausmass für die drei Szenarien ist in Tabelle 2.6 dargestellt.

Tabelle 2.6: Schadenausmass für die Szenarien 30-, 100- und 300-jährliches Ereignis. Es wurde keine Risikoaversion einbezogen.

Kategorie	Sz30	Sz100	Sz300
Gebäude [CHF]	113'000	1'351'000	2'019'000
Verkehrswege [CHF]	1'315'000	2'081'000	2'233'000
Landwirtschaft [CHF]	0	278'000	339'000
Summe Sachwerte [CHF]	1'428'000	3'710'000	4'591'000
Personen [Tf]	0	0	0
Personen [CHF]	225	550'000	2'475'000
Gesamt [CHF]	1'428'225	4'260'000	7'066'000

2.5 Risikoermittlung

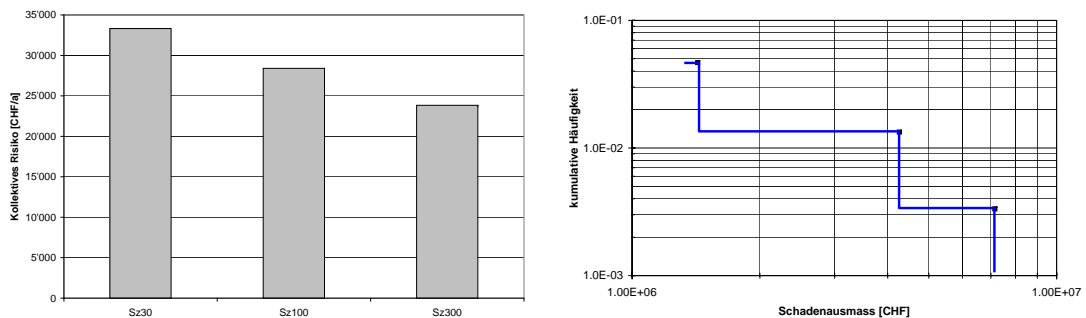
2.5.1 Kollektive Risiken

Durch die Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit der Szenarien konnte das kollektive Risiko bestimmt werden. Die Personenschäden wurden dazu mit 5 Millionen Franken bewertet. Die Abbildung 2.3(b) zeigt das Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm. Das gesamte kollektive Risiko unter den gemachten Annahmen beträgt rund 86'000 CHF/a.

2.5.2 Individuelle Risiken

Die individuellen Risiken wurden für folgende Objekte berechnet:

- Wohnhaus (Ferienhaus) Nr. 10
- Schreinerei und Wohnhaus Nr. 21
- Benutzer/in Gemeindestrasse



(a) Verteilung der Risiken auf die Szenarien 30-, 100-, 300-jährlich. Personenrisiken werden mit 5 Mio. CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert.

(b) Darstellung der kollektiven Risiken im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm.

Abbildung 2.3: Darstellung der kollektiven Risiken für das Fallbeispiel Chummerbach. Abbildung (a) zeigt den Beitrag der einzelnen Szenarien zum kollektiven Risiko; Abbildung (b) zeigt das Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm.

Für die Personen in den beiden Gebäuden wurde eine Präsenz von 18 Stunden pro Jahr angenommen. Für die Benutzer/in der Gemeindestrasse in einem Fahrzeug wurden 10 Durchfahrten pro Tag gerechnet. Damit ergeben sich für diese Personen folgende individuelle Risiken (Tabelle 2.7):

Tabelle 2.7: Individuelle Risiken verschiedener Personen im Kegelbereich des Chummerbachs. Für die Personen in Gebäuden wurde eine Anwesenheit von 18h pro Tag angenommen, für die Benutzer/in der Gemeindestrasse 10 Durchfahrten pro Tag.

Aufenthaltsort	individuelles Risiko
Wohnhaus Nr. 10	$4.5 \cdot 10^{-6}$
Schreinerei und Wohnhaus Nr. 21	$1.5 \cdot 10^{-4}$
Benutzer/in Gemeindestrasse	$2.3 \cdot 10^{-5}$

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Die Tabelle 2.6 zeigt, dass das Schadenausmass vom 30-jährlichen Szenario zum 300-jährlichen Szenario um rund den Faktor 5 zunimmt. Die Verteilung der Risiken stellt sich hingegen umgekehrt dar (Abbildung 2.3(a) und (b)). Das 30-jährliche Szenario trägt am meisten zum Gesamtrisiko bei; in abnehmender Folge tragen das 100-jährliche und das 300-jährliche Szenario bei. Die Sachschäden an den Verkehrswegen im 30-jährlichen Szenario machen über 90 % des Schadenausmasses in diesem Szenario aus. Das hohe Schadenausmass ergibt sich v.a. wegen der erwarteten Schäden an der Bahnlinie. Dies ist bereits ein Indiz, dass der Sicherung der Bahnlinie eine besondere Bedeutung beizumessen ist.

Wird das Schadenpotential dem berechneten Schadenausmass gegenüber gestellt, dann ergibt sich folgendes Bild: Bei den Gebäuden beträgt der Anteil Schadenausmass zu Schadenpotential 38 %, bei den Verkehrswegen 44 % und bei den landwirtschaftlichen Flächen 19 %.

Das kollektive Risiko für Personen ist sehr tief und beträgt 0.0024 Todesfälle pro Jahr. Dies bedeutet, dass theoretisch rund alle 400 Jahre mit einem Todesfall gerechnet werden muss, wenn keinerlei Massnahmen ergriffen werden.

Die Personenrisiken (rund 12'000 CHF/a) verhalten sich zu den Sachrisiken (rund 73'000 CHF/a) im Verhältnis 1:6. Die Sachrisiken haben also einen wesentlichen Anteil am Risiko.

2.6.2 Individuelle Risiken

Die Tabelle 2.7 stellt die individuellen Risiken für drei überdurchschnittlich gefährdete Personengruppen dar. Der Vergleich mit den Schutzziele für unfreiwillige Risiken von $1 \cdot 10^{-5}$ (vgl. Teil A, Tabelle 4.2, Seite 43) zeigt, dass das Schutzziel für Benutzer/innen der Gemeindestrasse (unter den gemachten Annahmen) und einer Person im Gebäude Nr. 21 über den Grenzwerten liegt. Für eine Person im Gebäude Nr. 10 liegt der Wert unter den Grenzwerten.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Um die Risiken zu senken, wurden für dieses Projekt verschiedene Massnahme ausführlich diskutiert. Die folgenden Ausführungen lehnen sich an die Massnahmenstudie Chummerbach an, die im Nachgang des Ereignisses erarbeitet wurde [60].

2.7.1 Raumplanerische Massnahmen

Bei der Planung der Massnahmen wurde davon ausgegangen, dass die raumplanerische Massnahmen auf jeden Fall getroffen werden, das heisst dass Gefahrenzonen in der notwendigen Grösse ausgeschieden und entsprechende Verbote oder Auflagen erlassen werden.

2.7.2 Biologische Massnahmen

Wie in Abschnitt 2.2.1.1 bereits erwähnt, liegen 80 % des Einzugsgebietes zwischen 1900 und 2550 m ü. M. und damit an bzw. über der Waldgrenze. Die Einsatzmöglichkeiten von biologischen Massnahmen sind sehr eingeschränkt. In der Massnahmenplanung wurden biologische Massnahmen daher nicht in die Betrachtung einbezogen. Trotzdem ist die regelmässige Bewirtschaftung des Gerinnes und der bestockten Einhänge durch den Forstdienst der Gemeinde Davos zur Verminderung des Schwemmholzpotenzials sehr wichtig.

2.7.3 Organisatorische Massnahmen

Die Einsatzmöglichkeiten von organisatorischen Massnahmen zur Reduktion der Risiken lassen sich wie folgt umschreiben bzw. charakterisieren:

1. Die Ereignisse von 1998 haben gezeigt, dass die auslösenden Faktoren (kleinräumiger, heftiger Niederschlag) sehr kurzfristig und räumlich sehr differenziert auftreten. Die Voraussetzungen für eine vorgängige Warnung sind daher relativ schlecht.
2. Die Entfernung zwischen Auslösegebiet und gefährdeten Objekten ist relativ kurz, so dass der Einsatz von Warnanlagen nicht in Frage kommt.
3. Der Anteil der Personenrisiken am Gesamtrisiko beträgt nur ca. ein Sechstel. Es stehen also Sachrisiken im Vordergrund, die mit organisatorischen Massnahmen nicht wirksam reduziert werden können.
4. Die klassische Anwendung von Warnanlagen für die Sicherung von Verkehrswegen ist für den vorliegenden Fall wenig wirksam, da die Personenrisiken entlang der Verkehrswege Bahnlinie und Kantonsstrasse nur von untergeordneter Bedeutung sind. Einzig in Bezug auf die individuellen Risiken auf den Gemeindestrassen spielen Personenrisiken eine bedeutendere Rolle. Wegen der kurzen Vorwarnzeiten spielen organisatorische Massnahmen nur eine untergeordnete Rolle.

Aus diesen Gründen würde für das vorliegende Fallbeispiel auf eine nähere Evaluierung von organisatorischen Massnahmen verzichtet.

2.7.4 Technische Massnahmen

Als technische Massnahmen wurden verschiedene Varianten geprüft.

2.7.4.1 Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel: Stabilisierung der Gerinnesohle und der Einhänge, Verhindern weiterer Erosion wie 1998.
- Wildbachsperren ab Kote 1960 (Einmündung Seitenbach Chummerberg) bis Kote 1770 (Beginn Felsstrecke).
- Längsverbau / Ufersicherung Kote 1960 bis 1890 vor allem rechtsufrig. Linksufrig bei Kurve Kote 1910.
- Stabilisierung Einmündung der zwei wichtigsten Seitengerinne links: Bach Chummerberg und Roter Graben.
- Erwartete Wirkung: Die Sperren reduzieren die zu erwartende Geschiebefracht am Kegel und nehmen allenfalls Einfluss auf den massgebenden Prozess (Geschiebetransport oder Murgang).

Für die Beurteilung wurde voraus gesetzt, dass über den gesamten Zeitraum die Bauwerke den Anforderungen nach Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit entsprechen, dass also die entsprechenden Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Sämtliche Varianten mit nur genügendem oder schlechtem Bauwerkszustand fielen deshalb für die Beurteilung der Wirksamkeit weg. Als Extremszenario wurde ein mangelhafter Zustand simuliert und die Folgen aufgezeigt.

2.7.4.2 Variante 2: Längsverbau im Mittellauf

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel: Stabilisierung der Einhänge, Verhindern weiterer Erosion mit nachfolgenden Hangbewegungen wie 1998.
- Längsverbau mit Holzkasten ab Kote 1720 bis Kote 1620. Im oberen Teil linksufrig, unten ein kürzeres Stück rechtsufrig.
- Gerinnegestaltung mit Bagger: Den Stromstrich möglichst geradlinig und in der Mitte der zum Teil sehr breiten Gerinnesohle führen.
- Erwartete Wirkung: Der Längsverbau schützt den Hangfuss vor Unterspülung und verhindert dadurch das Nachbrechen grosser Lockermaterialmassen.

Es wurde grundsätzlich angenommen, dass über den gesamten Zeitraum die Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Trotzdem ist infolge von Alterungsprozessen einerseits und starken Belastungen durch Hangprozesse andererseits eine gewisse Verschlechterung des Zustandes denkbar, der vielleicht nicht sofort erkannt wird oder repariert werden kann. Deshalb wurde zwar ein guter Zustand als wahrscheinlichste Variante betrachtet, den Verschlechterungen aber ebenfalls Bedeutung beigemessen.

2.7.4.3 Variante 3: Geschiebesammler

Verbauungskonzept:

- Rückhalt eines Grossteils der bei einem 100-jährlichen Ereignis am Kegelhals zu erwartenden Feststofffracht.
- Geschiebesammler am Kegelhals, Volumen 30'000 m³.
- Sohlen- und Ufersicherung vom Geschiebesammler bis zur Einmündung ins Landwasser.
- Erwartete Wirkung: Geschiebe und Schwemmholz wird zurückgehalten, bis das maximale Fassungsvermögen des Sammlers erschöpft ist.

Für die Beurteilung wurden verschiedene Ereignisgrössen, zwei verschiedene Grade der Vorverfüllung, verschiedene Annahmen zum Verlandungsgefälle (6 und 12 %) und unterschiedliche Ausnützungen (75 und 100 %) des Sammlers in die Überlegungen einbezogen. Es wurde auch für die Massnahme ausdrücklich vorausgesetzt, dass über den gesamten Zeitraum das Bauwerk den

Anforderungen nach Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit entspricht, dass also die entsprechenden Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Ein Versagen des Bauwerkes wurde deshalb ausgeschlossen. Es wurde von einer Nutzungsdauer von 100 Jahren ausgegangen.

2.7.4.4 Variante 4: Objektschutz

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel 1: Abweisen / Umlenken der die Gebäude und damit auch die Personen bedrohenden Prozesse → Reduktion der Einwirkung;
- Verbauungsziel 2: Verstärken der Gebäudestruktur angemessen der möglichen Belastung → Reduktion der Schadenempfindlichkeit;
- Massnahmen: Ablenkdamme, Verstärkungen der Gebäudehülle, Kolkschutz, etc → Im Detail noch genauer festzulegen. Individuell auf die Gebäude und die zu erwartende Belastung auszurichten;
- Die Massnahmen werden risikoorientiert geplant. Geschützt werden jene Gebäude, die gemäss Risikoanalyse besonders gefährdet sind und / oder Personen beherbergen können.
- Erwartete Wirkung: Durch die baulichen Massnahmen wird verhindert, dass Wasser und Geschiebe das Gebäude erreichen oder in dieses eindringen können.

Welche Objekte berücksichtigt werden sollen, wurde durch die Gefahrenanalyse definiert, wobei das 300-jährliche Ereignis als massgebend betrachtet wurde. Es wurden folgende Ausgestaltungen berücksichtigt:

- Dämme: Rund 2 bis 3 m hohe Dämme aus Erdmaterial sollen die Prozesse von den Objekten fernhalten. Wichtig ist der Kolkschutz auf der Wasserseite;
- Abflussmulden: In Ergänzung zu den Dämmen können die natürlich vorgegebenen Fliesswege stärker ausgeformt werden. Es bleibt jedoch zu berücksichtigen, dass im Ereignisfall praktisch unberechenbare Wechsel von Erosion und Ablagerung zu anderen Fliesswegen führen können;

Als Spezialfall zu dieser Massnahme könnte auch der Abtrag der Geländerippe rechtsufrig im untersten Teil vorgesehen werden, um so die Wasser-/ Geschiebemassen zusätzlich von den Gebäuden linksufrig wegzulenken;

- Gebäude: Hier sind je nach Belastung die Wasserdichtigkeit der Gebäudehülle im unteren Bereich (bei eher langsam fliessendem Wasser), zusätzlicher Kolkschutz entlang des Fundamentes (in schnell fliessendem Wasser) bis hin zu Verstärkungen der gesamten Gebäudestruktur inklusive Dach (bei drohender Übermürung) vorzusehen.

2.7.4.5 Variante 5: Geschiebesammler maximal

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel: Rückhalt sämtlicher bei einem 100-jährlichen Ereignis am Kegelhals zu erwartenden Feststofffracht inkl. einer Sicherheitsmarge von rund 10 %;
- Geschiebesammler am Kegelhals, Volumen 50'000 m³;
- Sohlen- und Ufersicherung von Geschiebesammler bis zur Einmündung ins Landwasser.
- Erwartete Wirkung: Geschiebe und Schwemmholz wird zurückgehalten, bis das maximale Fassungsvermögen des Sammlers erschöpft ist.

Für die Beurteilung wurde von unterschiedlicher Vorverfüllung des Geschiebesammlers ausgegangen. Weiter wurden in den Unterszenarien zwei Verlandungsgefälle (6 % und 12 %) sowie unterschiedliche Ausnützungen (75 und 100 %) einbezogen.

Es wurde davon ausgegangen, dass über den gesamten Zeitraum die Bauwerke den Anforderungen nach Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit entsprechen, dass also die entsprechenden Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Ein Versagen des Bauwerkes wurde deshalb ausgeschlossen. Es wurde von einer Nutzungsdauer von 100 Jahren ausgegangen.

2.8 Wirksamkeit

Für die Beurteilung der Wirksamkeit (also der Risikoreduktion) wird für alle Massnahmenvarianten eine Gefahrenbeurteilung und eine Konsequenzenanalyse unter Berücksichtigung der Massnahmen durchgeführt. Diese Beurteilung ist ebenfalls wie die vorhergehenden Schritte der Studie von Romang [60] entnommen. Es werden im Folgenden die Ausgangsrisiken und die reduzierten Risiken gegenüber gestellt.

2.8.1 Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf

Die Sperren haben alleine Einfluss auf die bewegte Geschiebefracht. Auf die Prozessart (Geschiebetransport oder Murgang) konnte kein entscheidender Einfluss postuliert werden. Der Chummerbach ist und bleibt murffähig. Es wurde auch kein markanter Einfluss auf die Prozesse im Unterlauf vermutet. Entsprechend konnte auf der Gefahrenbeurteilung für den unverbauten Zustand basiert werden, indem lediglich die entsprechenden Werte für die bewegten Feststoffe korrigiert wurden.

Die Wirksamkeit von Variante 1, ausgedrückt als Risikoverminderung, ist in Tabelle 2.8 dargestellt.

Tabelle 2.8: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 1.

Kategorie	R_o	R_{var1}	Risikoverminderung	
Gebäude [CHF/a]	18'360	17'387	973	5.3 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	24'754	27'250	52.4 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	2'356	630	21.1 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	44'497	28'853	39 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0024	0	0.0 %
Personen [CHF/a]	11'920	11'920	0	0.0 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	56'417	28'852	34 %

2.8.2 Variante 2: Längsverbau im Mittellauf

Der Längsverbau beeinflusst die bewegte Geschiebefracht. Die Prozessart (Geschiebetransport oder Murgang) wird dadurch etwas verändert, indem das Einrutschen von Lockermaterialmassen als wichtiger Murgangbildungsprozess im Chummerbach unwahrscheinlicher wird. Murgänge erreichen deshalb den Kegel seltener (nur 300-jährliches Ereignis). Im Wesentlichen konnte auf die Gefahrenbeurteilung für den unverbauten Zustand abgestützt werden, indem lediglich die entsprechenden Werte für die bewegten Feststoffe korrigiert wurden.

Die Beeinflussung der Geschiebefracht fällt recht bescheiden aus (auch bei den Extremszenarien). Dies ist die Folge davon, dass gemäss Gefahrenbeurteilung im Chummerbach die meisten Feststoffe aus der Sohle und nicht aus den Einhängen mobilisiert werden. Entscheidender für die Gefahrenbeurteilung ist, dass postuliert wird, durch die Stabilisierung der Einhänge würden seltener Murgänge gebildet.

Die reduzierten Geschiebemengen führen zu einer veränderten Gefahrenbeurteilung und tragen so zu einer Reduzierung der Risiken bei. Die Risiken nach Massnahmenrealisierung sehen wie folgt aus (Tabelle 2.9):

Tabelle 2.9: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 2.

Kategorie	R_o	R_{var2}	Risikoverminderung	
Gebäude [CHF/a]	18'360	13'054	5'306	28.9 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	42'123	9'881	19.0 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	1'257	1'729	57.9 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	56'434	16'916	23 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0014	0.0010	43 %
Personen [CHF/a]	11'920	6'806	5'114	43 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	63'240	22'029	26 %

2.8.3 Variante 3: Geschiebesammler

Der Geschiebesammler reduziert die Geschiebefracht. Durch das Abschlussbauwerk werden Murgänge zurückgehalten. Auf dem Kegel ist deshalb nicht mehr mit dieser Gefährdung zu rechnen.

Der Geschiebesammler fängt eine 30-jährliche Geschiebefracht auf. Es ist daher für dieses Szenario mit keiner Gefährdung mehr zu rechnen. Das 100-jährliche Szenario wird stark reduziert, was zu einer Anpassung der Intensitätskarte führt (Abbildung 2.4(a)). Die Geschiebefracht des 300-jährlichen Szenarios wird auf eine Grösse reduziert, die in etwa dem Extremszenario 1 der Massnahmenvariante 1 entspricht. Also wurde diese Intensitätskarte exkl. Murganggefährdung übernommen. Aufgrund dieser veränderten Gefahrenbeurteilung ergibt sich folgende Risikoreduktion (Tabelle 2.10):

Tabelle 2.10: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 3.

Kategorie	R_o	R_{var3}	Risikoverminderung	
Gebäude [CHF/a]	18'360	13'054	5'306	28.9 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	42'123	9'881	19.0 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	1'257	1'729	57.9 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	56'434	16'916	23 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0014	0.0010	43 %
Personen [CHF/a]	11'920	6'806	5'114	43 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	63'240	22'029	26 %

2.8.4 Variante 4: Objektschutz

Eine Beurteilung der einzelnen Szenarien, wie dies bei den anderen Varianten gemacht wurde, erschien für diese Variante kaum hilfreich. Zwar konnten sowohl die Einwirkungen als auch die Zustände / das Verhalten der Massnahmen definiert werden. Die Wahrscheinlichkeiten der Zustände allerdings waren einerseits mangels Erfahrungswerten kaum abzuschätzen, andererseits dürften sie aber auch - abgesehen von extremen Annahmen - in einem recht engen Bereich sein. Deshalb wurde hier vorgezogen, die Auswirkungen der Massnahmen pragmatisch abzuschätzen und direkt in die Risikoanalyse einfließen zu lassen.

Die Gefahrenbeurteilung ändert sich durch die Ablenkdamme. Die Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung zum 100-jährlichen Ereignis sind in Abbildung 2.4(b) dargestellt. Auf die Darstellung des 300-jährlichen Ereignisses wurde verzichtet. Die Änderungen lassen sich sinngemäss aus der Intensitätskarte zum 100-jährlichen Szenario ableiten.

Basierend auf der Gefahrenbeurteilung nach Massnahmen der Variante 4 präsentieren sich die Risiken gemäss Tabelle 2.11:

Tabelle 2.11: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 4.

Kategorie	R_o	R_{var4}	Risikoverminderung	
Gebäude [CHF/a]	18'360	7'252	11'108	60.5 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	52'003		0.0 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	2'986		0.0 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	62'242	11'108	15 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0007	0.0017	71.4 %
Personen [CHF/a]	11'920	3'409	8'511	71.4 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	65'651	19'618	23 %

2.8.5 Variante 5: Geschiebesammler maximal

Der Geschiebesammler reduziert die Geschiebefracht und damit die Gefährdung sehr stark. Die Intensitätskarten zum 30- und 100-jährlichen Szenario fallen weg. Für das 300-jährliche Szenario kann die Intensitätskarte Ausgangszustand 30-jährliches Szenario verwendet werden (Abbildung 2.2(a)).

Im ungünstigeren Extremszenario 2 ist mit einer Gefährdung zu rechnen, die etwa dem 100-jährlichen Szenario bei der Massnahmenvariante 3 entspricht. Diese Intensitätskarte wurde hier übernommen (Abbildung 2.4(a)). Das Extremszenario 1 ist ohne weitere Bedeutung.

Dem entsprechend präsentieren sich die Risiken gemäss Tabelle 2.12:

Tabelle 2.12: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 5.

Kategorie	R_o	R_{var5}	Risikoverminderung	
Gebäude [CHF/a]	18'360	0	18'360	100.0 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	4'940	47'063	90.5 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	0	2'986	100.0 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	4'940	68'409	93 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0	0.0024	100.0 %
Personen [CHF/a]	11'920	0	11'920	100.0 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	4'940	80'329	94 %

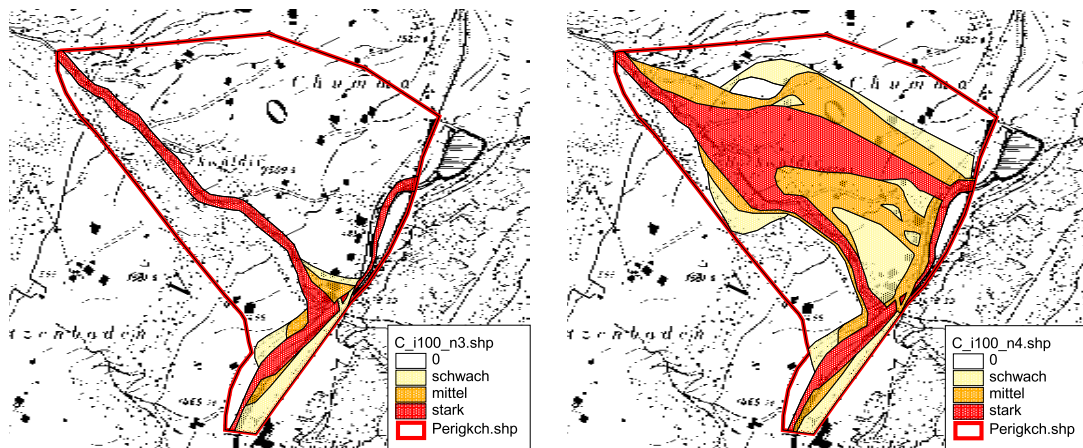
2.8.6 Variante 6: Kombination Geschiebesammler und Objektschutz

Diese Massnahme stellt eine Ergänzung der Variante 3 mit der Variante 4 dar. Somit muss basierend auf der Restgefährdung nach Variante 3 die weitere Reduzierung der Gefährdung durch die Massnahmen zum Objektschutz beurteilt werden. Durch die Kombination der Massnahmen wird die Risikoverminderung nochmals grösser als bei Variante 3. Allerdings entspricht sie nicht der Summe der Werte je Variante. Gewisse Wirkungen sind redundant vorhanden. Beispielsweise reduzieren sowohl der Geschiebesammler durch die Reduktion der Geschiebefracht als auch die

Ablenkdamme durch die Umleitung der Fliesswege die Intensität der Einwirkung auf die Gebäude. Die Risiken unter Berücksichtigung der Massnahmen stellt sich wie folgt dar (Tabelle 2.13):

Tabelle 2.13: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 6.

Kategorie	R_o	R_{var6}	Risikoverminderung
Gebäude [CHF/a]	18'360	1'933	16'427 89.47 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	17'333	34'671 66.67 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	472	72'878 84.21 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	19'737	53'612 73 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0	0.0024 100.0 %
Personen [CHF/a]	11'920	0	11'920 100.0 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	19'737	65'532 77 %



(a) Szenario 100-jährlich nach Variante 3

(b) Szenario 100-jährlich nach Variante 4

Abbildung 2.4: Intensitätskarten Fallbeispiel Chummerbach nach der Variante 3 (a) und der Variante 4 (b).
© 2008 swisstopo (JD082774).

2.9 Kosten

Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgte nach der Methode, die im Teil A erläutert wird (Abschnitt 5.6, Seite 57ff). Dabei wurde ein Zinssatz von 2 % angenommen. Für die einzelnen Massnahmenvarianten werden die einzelnen Faktoren zur Bestimmung der jährlichen Kosten im Folgenden dargestellt.

2.9.1 Variante 1

Die Investitionskosten $I(0)$ für rund 30 Sperren à 100'000 CHF betragen 3'000'000 CHF. Die Kosten für Unterhalt und Reparatur wurden gestützt auf die jährlichen Ausgaben der Gemeinde

Davos für den Gewässerunterhalt abgeschätzt. Gemäss K. Eberle, Gemeindeing. Davos, summieren sich diese Ausgaben pro Jahr auf rund 500'000 CHF. Wird dieser Betrag gewichtet auf alle Bäche umgelegt, kann die Grössenordnung der Aufwendungen für den Unterhalt einer Verbauung wie Variante 1 angenähert werden. Die einzurechnende Summe beträgt somit 30'000 bis 50'000 CHF/a. Diese Werte entsprechen jährlich 1 bis 1.5 % des Investitionsvolumens und liegen damit im Vergleich zu gebräuchlichen Werten im Lawinenbereich sowie vereinzelt dokumentierten Erfahrungen im Wildbachbereich in einer plausiblen Grössenordnung.

Zusammen mit den Kapital- und den Abschreibungskosten ergaben sich über eine Laufzeit von 100 Jahren und einem Restwert $L(n)$ von 0 CHF jährliche Kosten $K(j)$ zwischen 90'000 und 110'000 CHF. Die jährliche Kosten wurden schliesslich auf **100'000 CHF/a** festgelegt.

2.9.2 Variante 2

Die Investitionskosten $I(0)$ für 550 m Holzkasten mit einem Volumen von $10 \text{ m}^3/\text{m}$ und einem Anteil von 20 % Holz à 450 CHF/ m^3 betragen 500'000 CHF. Die Unterhaltskosten $K(u)$ und die Reparaturkosten $K(r)$ wurden zusammen auf 10'000 CHF/a (entsprechend 2 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt. Mit einem Restwert von $L(n)$ von 0 CHF und einer Laufzeit von 50 Jahren errechneten sich jährliche Kosten $K(j)$ in Höhe von **25'000 CHF/a**.

2.9.3 Variante 3

Die Investitionskosten $I(0)$ für den Geschiebesammler und den Vollverbau im Unterlauf betragen 2'200'000 CHF (je rund 1 Mio. CHF). Die Schätzungen der Kosten für Unterhalt und Reparatur unterlagen den folgenden Annahmen:

- Die jährlichen Kosten des Geschiebesammlers werden dominiert durch die episodisch anfallenden maschinellen Entleerungen, welche den Betriebskosten zugerechnet werden. Aufgrund der Gefahrenbeurteilung wurden folgende Kubaturen in die Kostenschätzung einbezogen: $1 \times 30'000 \text{ m}^3$, $2 \times 15'000 \text{ m}^3$, $4 \times 7'500 \text{ m}^3$. Total $90'000 \text{ m}^3$ in 100 Jahren. Die Entleerungskosten wurden anhand von Vergleichswerten anderer Geschiebesammler (Frauen- und Suzibach) in der Landschaft Davos aus dem Jahr 1998 ermittelt. Hier resultierte jeweils ein Aufwand von 22 CHF/ m^3 . Es ergeben sich jährliche Betriebskosten $K(b)$ von rund 20'000 CHF/a.

Nicht berücksichtigt wurde die Möglichkeit, dass bei entsprechender Qualität und Nachfrage das Geschiebe zu reduzierten Kosten oder gratis abgeholt wird.

- Die weiteren Unterhalts- und Reparaturkosten am Geschiebesammler wurden auf 5'000 CHF/a (entsprechend 0.5 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt.
- Die Verbauungen im Unterlauf sind relativ grossen erosiven Belastungen ausgesetzt. Die Unterhalt- und Reparaturkosten $K(r)$ wurden auf 10'000 CHF/a (entsprechend 1 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt.

Mit der Annahme eines Restwertes $L(n)$ von 200'000 CHF (begründet durch die i.d.R. sehr hohe Lebensdauer von Geschiebesammlern) und einer Laufzeit n von 100 Jahren ergaben sich jährliche Kosten $K(j)$ in Höhe von **75'000 CHF/a**.

2.9.4 Variante 4

Die Investitionskosten für Ablenkdämme und Geländegestaltung betragen insgesamt 200'000 CHF. Dazu kommen Gebäudeverstärkungen, Landentschädigungen und anderes, so dass die gesamten Investitionskosten $I(0)$ auf 400'000 CHF geschätzt wurden.

Für den Unterhalt und die Reparatur wurden sowohl private Ausgaben (ein Teil der Unterhaltsaufwendungen entfallen auf die privaten Gebäudebesitzer, während bei der Erstinvestition davon ausgegangen wird, dass sämtliche Kosten im Sinne eines Schutzprojektes von der öffentlichen Hand übernommen werden) als auch öffentliche Kosten berücksichtigt. Insgesamt wurden $K(u) + K(r)$ auf total 5'000 CHF/a (entsprechend rund 1 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt. Der Restwert $L(n)$ wurde mit 0 CHF und die Laufzeit n mit 50 Jahren angenommen.

Die jährlichen Kosten wurden damit auf 17'000 CHF geschätzt. Für die weitere Beurteilung wird auf einen gerundeten Betrag von **15'000 CHF/a** abgestützt.

2.9.5 Variante 5

Die Investitionskosten für den Geschiebesammler und den Vollverbau im Unterlauf $I(0)$ betragen 3'000'000 CHF. Die Kosten für Unterhalt und Reparatur wurden analog nach Variante 3 bestimmt. Infolge des grösseren Rückhaltevolumens des Sammlers ist aber mit höheren Betriebskosten (Leerrung) zu rechnen (plus 5'000 CHF/a). Weiter wurde der Restwert auf 300'000 CHF erhöht. Es resultierten bei einer Laufzeit von 100 Jahren jährlichen Kosten von rund **95'000 CHF/a**.

2.9.6 Variante 6

Diese Variante ergibt sich aus der Kombination der Varianten 3 und 4. Die jährlichen Kosten konnten von dort übernommen werden. Sie betragen für Variante 3 75'000 CHF/a und für Variante 4 15'000 CHF/a. Damit ergaben sich jährliche Kosten $K(j)$ von 90'000 CHF/a. Da jedoch wegen der Wirkung des Geschiebesammlers weniger Objektschutzmassnahmen ergriffen werden mussten, reduzierten sich die jährlichen Kosten auf **80'000 CHF/a**.

Die jährlichen Kosten für alle Massnahmen sind in Tabelle 2.14 zusammengefasst:

Tabelle 2.14: Zusammenstellung der Kosten für Massnahmenvarianten im Fallbeispiel Chummerbach.

Variante	$I(0)$	$K(b)$	$K(u) + K(r)$	$L(n)$	n	$K(j)$
1	3'000'000	0	40'000	0	100	100'000
2	500'000	0	10'000	0	50	25'000
3	2'200'000	20'000	15'000	200'000	100	75'000
4	400'000	0	5'000	0	50	15'000
5	3'000'000	25'000	15'500	300'000	100	95'000
6	Kombination Varianten 3 und 4					80'000

2.10 Massnahmenbewertung

Die bestimmte Wirksamkeit und die berechneten Kosten der verschiedenen Massnahmenkombinationen (Tabelle 2.14) wurden schliesslich in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen (Abbildung 2.5).

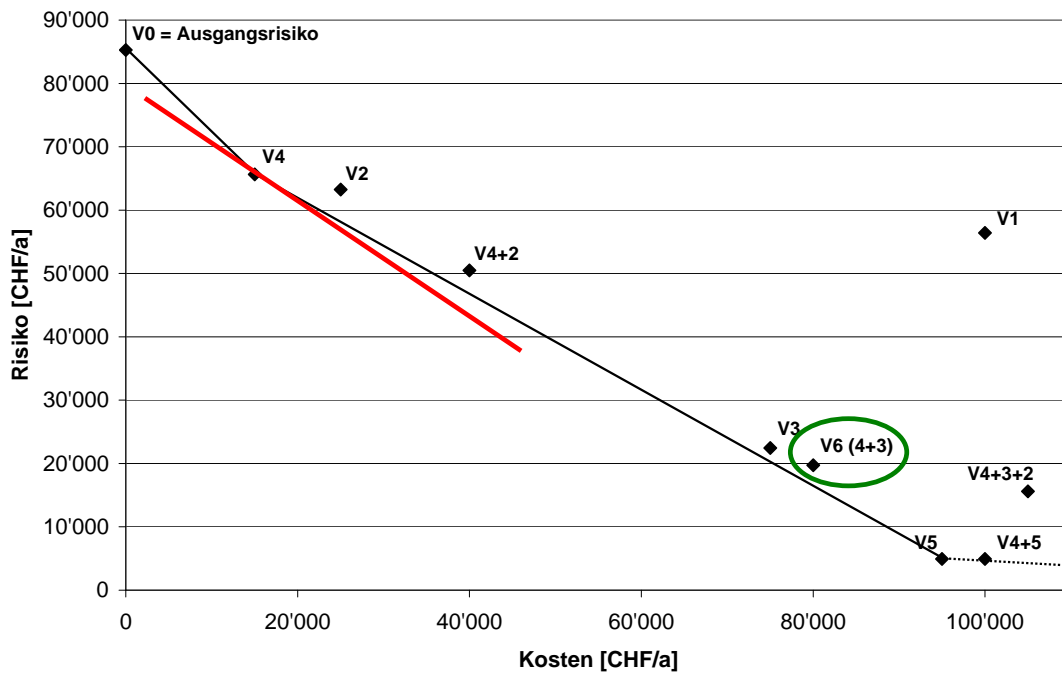


Abbildung 2.5: Risiko-Kosten-Diagramm der Massnahmen und Massnahmenkombinationen für das Fallbeispiel Chummerbach. Nach Anlegen der Grenzkostentangente würde Variante 4 realisiert. Der grüne Kreis deutet die favorisierte und realisierte Lösung an.

Die Abbildung 2.5 zeigt, dass, ausgehend vom Ausgangszustand, die Variante 4 (Objektschutz) die kostenwirksamste Massnahme darstellt. Ausgehend von der Variante 4 werden die weiteren Massnahmenkombinationen dargestellt. Die theoretisch kostenwirksamste Massnahme ist die Kombination Variante 4 und Variante 5 (Geschiebesammler maximal), dicht gefolgt von der Variante 6 (4+3). Die Ergänzung dieser Kombinationen mit weiteren Varianten (z.B. Variante 2: Längsverbau im Mittellauf) vermag nur noch wenig Risiko zu reduzieren bei weiter zunehmenden Kosten. Werden die Massnahmenvarianten in dieser Art dargestellt, ist immer zu beachten, dass sich diese Reihung aufgrund verschiedener Annahmen und damit Unsicherheiten ergibt. So liegen die Unterschiede zwischen den Kombinationen 4+5 und 4+3 im Bereich der Unsicherheiten und sind nicht signifikant. Dies wird noch deutlicher, wenn auch bei 4+5 die kombinierte Wirkung (mit teilweiser Redundanz) berücksichtigt und nicht die blosser Aufreihung betrachtet wird. Schliesslich ist in Bezug auf die Schäden an den Verkehrswegen zu erwähnen, dass Unterbruchskosten, z.B. für die Bahnlinie, nicht berücksichtigt wurden. Diese dürften im vorliegenden Fall jedoch nicht unerheblich sein.

2.11 Realisierte Massnahmen

Aufgrund der verschiedenen Studien im Nachgang des Ereignisses von 1998 wurde die Massnahmenkombination Geschiebesammler und Objektschutz (Variante 6) realisiert. Obwohl gemäss Abbildung 2.5 die Kombination 4+5 theoretisch besser abschneidet, können wie erwähnt beide Kombinationen (4+5 sowie 4+3) als gleichwertig betrachtet werden.

Bei der Realisierung haben neben den hier präsentierten technischen und ökonomischen Aspekten weitere Faktoren eine Rolle gespielt. Zum einen sind in der Gemeinde Davos praktisch alle Wildbäche verbaut. Zudem wird häufig auf Geschiebesammler gesetzt. Eine andere Strategie oder gar ein Verzicht auf Verbaumassnahmen beim Wildbach mit dem grössten Feststoffpotenzial in der Gemeinde wäre ohne zwingende Gründe nicht plausibel gewesen. Zum anderen erfolgte die Planung und der Verbau nach einem Schadenereignis. Hier spielen immer andere Gründe als rein technische oder ökonomische Argumente eine wichtige Rolle.

Trotzdem wurde gesamthaft betrachtet eine vernünftige Variante gewählt. Dies umso mehr, als zum damaligen Zeitpunkt die hier nun angewendeten Konzepte und Methoden des Risikomanagements erst in den Anfängen steckten.

Kapitel 3

Fazit

Abschliessend wird versucht, den theoretischen Anspruch aus dem Risikokzept mit der Darstellung des Fallbeispiels zu vergleichen und Schlüsse hinsichtlich der Anwendbarkeit des Risikokonzepts und dess Grenzen zu ziehen.

Das Fallbeispiel hat gezeigt, dass das Risikokzept grundsätzlich anwendbar ist und eine risikoorientierte Massnahmenplanung erlaubt. Gestützt auf die sehr guten Grundlagen zu den Prozessen und dem Schadenpotenzial, dem begrenzten Projektperimeter sowie der ausführliche Massnahmenplanung kann im Chummerbach von einer relativ hohen Genauigkeit ausgegangen werden. Das Beispiel illustriert insbesondere, dass ein breites Variantenstudium machbar ist und verständliche und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen liefert.

Bei der Analyse von Massnahmenkombinationen als zentrales Element der risikoorientierten Planung muss den redundanten Wirkungen besondere Beachtung geschenkt werden. In den meisten Fällen wird sich der Sicherheitsgewinn durch eine zusätzliche Massnahme wegen dem Effekt der vorrangig gewählten oder erstellten Massnahme reduzieren. Deshalb sollten Massnahmenkombinationen, welche Redundanzen nicht beachten und das Grenzkostenkriterium gerade erfüllen, besonders kritisch betrachtet werden. Es ist zu vermuten, dass die Kombinationen in der Realität mit Redundanzen nicht mehr wirtschaftlich ist.

Im Beispiel Chummerbach liegen die sinnvollen Kombinationen 4+3 und 4+5 sehr nahe beieinander. Angesichts der immer vorhandenen Unschärfen sind sie als gleichwertig zu betrachten. Weiter liegen die Kosten-Wirksamkeiten nahe bei 1. Die Wirtschaftlichkeit ist damit nicht unbestritten. Die risikoorientierte Planung und das Grenzkostenkriterium ermöglichen deshalb in diesem Fall in erster Linie eine Vorselektion der Massnahmen. Der entgültige Variantenentscheid sollte neben dem Grenzkostenkriterium weitere Aspekte einbeziehen. Auch diese sollten transparent dargestellt werden, damit plausibel und nachvollziehbar entschieden werden kann.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für eine detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess Murgang zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude¹								
Wohninheit (à 2-24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.02	0.40	0.60	0	0.010	0.10
Wohninheit (à 2-24 Personen) Mehrfamilienhaus ²	550000.00	Stück	0.006	0.30	0.50	0	0.003	0.03
Garage (Parkinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox ³	60000.00	Stück	0.02	0.50	0.80	0	0.100	0.50
Hotel - Gästehaus	492.00	m ³	0.10	0.30	0.50	0	0.003	0.03
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m ³	0.10	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Einkaufszentrum	540.00	m ³	0.10	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Schule/Kindergarten	580.00	m ³	0.006	0.30	0.50	0	0.003	0.03
Spital	850.00	m ³	0.10	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Kirche	720.00	m ³	0.006	0.20	0.30	0	0.010	0.10
Bahnhof	530.00	m ³	0.10	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Stationsgebäude Mechanische Aufstieghilfe	500.00	m ³	0.10	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m ³	0.006	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Öffentliche Gebäude	810.00	m ³	0.10	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Stall	180.00	m ³	0.05	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Schuppen / Remise	80.00	m ³	0.02	0.50	1.00	0	0.100	0.20

¹ Alle mit Einheit m³: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

² I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

³ Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und numeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte⁴								
Kraftwerk		Stück	0.10	0.30	0.60	0	0.001	0.01
ARA		Stück	0.10	0.40	0.80	0	0.010	0.10
Deponie		Stück	0.01	0.20	0.40	0	0.010	0.10
Campingplatz		Stück	0.50	1.00	1.00	0	0.700	1.00
Schutzbauwerk		Stück	0.001	0.20	0.50	0	0	0
Wasserreservoir		Stück	0.01	0.30	0.60	0	0.500	0.80
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.01	0.50	1.00	0	0.500	0.80
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m'	0	0.10	0.30	0	0.100	0.30
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m'	0	0.20	0.50	0	0.500	0.80
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m'	0	0.50	0.80	0	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m'	0	0.50	1.00	0	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m'	0.10	0.80	1.00	0	0.700	0.90
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m'	0	0.50	1.00	0	0.700	0.90
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m'	0	0.50	0.80	0	0.700	0.90
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m'	0	0.10	0.80	0	0.700	0.80

⁴ grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separates Objekt z.B als Wohninheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m'	0	0.10	0.30	0	0.100	0.30
Schieneverkehr								
Einspur	6300.00	m'	0.50	0.60	1.00	0	0.001	0.01
Doppelspur	10400.00	m'	0.50	0.60	1.00	0	0.001	0.01
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m'	0	0	0.80	0	0.001	0.01
Brücke Doppelspur	420000.00	m'	0	0	0.80	0	0.001	0.01
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0	0.50	1.00			
Durchtrennung Kabelanlage innerhalb des Kabel-	21000.00	Anz.	0.50	0.50	1.00			
kanals (pro Schadenstelle)								
Frei wählbares Objekt		m'	0.50	0.50	1.00			
Mechanische Aufstieghilfe								
Skilift		m'	0	0.70	0.90	0	0.000	0.00
Sessellift		m'	0	0.50	0.90	0	1*10-8	0.80
Gondelbahn		m'	0	0.50	0.90	0	1*10-8	0.70
Luftseilbahn		m'	0	0.30	0.90	0	1*10-9	0.90
Standseilbahn Zahnradbahn		m'	0.30	0.70	1.00	0	0.010	0.20
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) ≤ 60 kV	400000.00	Mast	0	0.10	0.30			
Hochspannungsleitung > 60 kV	1000000.00	Mast	0	0.10	0.30			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m'	0	0.10	1.00			
Strom unter Terrain		m'	0.10	0.50	1.00			
Wasser auf Terrain		m'	0	1.00	1.00			
Wasser unter Terrain	800.00	m'	0	0.50	1.00			
Gas auf Terrain		m'	0	1.00	1.00			
Gas unter Terrain	600.00	m'	0	0.50	1.00			
Telekommunikation auf Terrain		m'	0	0.50	1.00			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m'	0	0.50	1.00			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m'	0.10	0.50	1.00			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.001	0.03	1.00			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.001	0.05	1.00			
Schutzwald	1000.00	a	0	0.50	0.90			
Nutzwald	200.00	a	0	0.60	1.00			
Rebberg	6000.00	a	0	0.35	1.00			
Gemüsekultur	5000.00	a	0	0.10	1.00			
Obstplantagen		a	0.10	0.60	1.00			
Parkanlage		a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00
Friedhof		a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert	Einheit	Schadenempfindlichkeit	Letalitätsfaktor
	[SFr.]		Intensität schwach mittel stark	Intensität schwach mittel stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien (Jährlichkeit) 30 100 300	
alle Objekte			0.00 0.50 0.80	