Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren

1

2

3

4

5

6

7

Baudirektion
Kanton Zürich

AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft

GVZ
Gebäudeversicherung
Kanton Zürich

Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren

Impressum

Lizenzausgabe für

Gebäudeversicherung
Kanton Zürich,
Thurgauerstrasse 56, 8050 Zürich
Telefon 01 308 21 11
Telefax 01 303 11 20

Baudirektion Kanton Zürich
AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Wasserbau
Walchetor, 8090 Zürich
Telefon 043 259 32 24
Telefax 043 259 42 99

© 1999
Gebäudeversicherungsanstalt
des Kantons St.Gallen
Davidstrasse 37
CH-9001 St.Gallen
Telefon 071 226 70 30
Telefax 071 226 70 29

Autor:
Dr. Thomas Egli
Egli Engineering AG, St.Gallen

Technische Zeichnungen:
Christoph Roth
Ingenieure Bart AG, St.Gallen

Mitglieder des Reviews:
Stefan Margreth
Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
Albert Böll, Werner Greber,
Dr. Dieter Rickenmann, Christian Rickli
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf
Jörg Rutz, Karl Schmid
Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St.Gallen
Dr. Rolf Ehrbar, Walter Peyer,
Urs Gunzenreiner, Theo Dietschi
Naturgefahrenkommission des Kantons St.Gallen
Rolf Bart
Ingenieure Bart AG, St.Gallen

Dank:
Der Autor dankt folgenden Personen für ihre wertvollen Beiträge:
Jörg Rutz
Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St.Gallen
Dieter Balkow
Schweizerisches Institut für Glas am Bau, Zürich
Urs Thali
Ingenieurbüro, Göschenen
Hans Züger
AG Kraftwerk Wägital
Johann Toggwiler
Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons Graubünden
Familie Lieberherr, Necker

Grafik:
vvk st.gallen
michael niederer / rosmarie winkler

Bildnachweis:
Ingenieure Bart AG, St.Gallen
US Army Corps of Engineers
SLF, Davos
Kantonsforstamt, Glarus
WSL, Birmensdorf
Tiefbauamt, Kanton St.Gallen
Ingenieurbüro Thali, Göschenen
Rüegger Geotechnik AG, St.Gallen
Kellerhals & Haefeli AG, Bern
Neo Vac AG, Oberriet
Uretek, Giswil

Baudirektion
Kanton Zürich

GVZ
Gebäudeversicherung
Kanton Zürich

Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren

Vorwort zur Erstausgabe

Der Kanton St.Gallen ist aus seiner Lage heraus ein «Naturgefahrenkanton». Die Sorge der kantonalen Gebäudeversicherung liegt denn auch mit starkem Gewicht auf der Unterstützung in der Schadenprävention und vor allem natürlich der zielgerichteten und vollen Schadendeckung. Im wesentlichen gehört die Elementarschadenprävention indessen zum Eigenverantwortungsbereich jedes Einzelnen. Die öffentliche Hand kann begrenzt mit raumplanerischen Massnahmen und mit generellen Schutzbauten die Gefährdungen in ihren Auswirkungen mindern.

Allgemeine Schutzmassnahmen
Konkret sind in unserem Kanton grössere Teile durch Überschwemmungen und Rutschungen, vereinzelte Gebiete auch durch Steinschlag, Lawinen oder Murgänge bedroht. Eine Besiedlung solch direkter Gefahrenzonen sollte vermieden werden. Raumplanerische Gebote sind hier wirksam.

Wo sich Siedlungen innerhalb von Gefahrengebieten bereits entwickelt haben, müssen andere Vorkehren greifen. Das sind Verbauungen wie etwa Hochwasserschutzdämme. Bei Steinschlag und Lawinengefährdung können auch waldbauliche Massnahmen die Risiken mindern. Gefordert sind insbesondere Staat und Gemeinden.

Konkrete Vorkehren
Schadenereignisse der jüngsten Vergangenheit zeigen, dass ein allgemeiner Schutz nicht mehr ausreicht. Die Schadenpotentiale sind gewachsen, die Schadenempfindlichkeit hat zugenommen. Wenn früher bei einem Hochwasserereignis einige Vorräte im Keller vernichtet wurden, ist ein Schadenbild heute sehr viel schwerwiegender. Untergeschosse sind modern eingerichtet oder enthalten oft empfindliches Lagergut. Sie werden schon bei geringer Überschwemmungstiefe innert weniger Minuten stark in Mitleidenschaft gezogen. Personen sind gefährdet. Es entsteht enormer Sachschaden und Betriebsunterbrüche können die Folge sein. Ein Problem für Versicherer und Versicherte.

Hier muss wirksamer Objektschutz einsetzen. Ausgewählte und konkret abgestimmte Massnahmen können an bestehenden Objekten die Empfindlichkeit gegenüber Naturgefahren reduzieren. Solche Massnahmen müssen nicht einmal viel kosten. Notwendig ist, dass bei Neubauten aus wahrgenommener Eigenverantwortung derlei Massnahmen selbstverständlich werden. Bei bestehenden Gebäuden sollen, wenn immer möglich, gleiche Schutzvorkehren nachträglich getroffen werden. Die Gebäudeversicherungsanstalt kann unter bestimmten Voraussetzungen mit finanziellen Beiträgen helfen.

Warum jetzt eine Richtlinie?
Dem projektierenden Ingenieur und Architekten, aber auch dem Bauherrn und den Baubehörden der Gemeinden will diese Richtlinie praktische Hilfestellung geben. Grundsätzliche Angaben zeigen die Wirkung der Naturgefahren. Konkrete Gefährdungsbilder helfen, individuell wirksame Objektschutzmassnahmen zu finden. Insgesamt will die Richtlinie von grundsätzlich konzeptionellen Überlegungen hin zum wirkungsvollen Schutz am konkreten Objekt führen. Erfahrungen mit getroffenen Vorkehren können zu erweiterten oder neuen Erkenntnissen führen. Die Richtlinie ist ein erster Schritt und ein Beitrag der kantonalen Gebäudeversicherung zu wirksamen, raumplanerischen Vorkehren, die über die Totalrevision des Wasserbaugesetzes in unserem Kanton hoffentlich bald umgesetzt werden können.

St.Gallen, Juli 1999

Werner Gächter, Direktor Kantonale Gebäudeversicherungsanstalt

Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren

Vorwort zur Lizenzausgabe

«Vorbeugen ist besser als heilen». Dieser Grundsatz erweist sich insbesondere im Umgang mit Naturgefahren als wichtig; er soll deshalb im Kanton Zürich vermehrt in die Praxis umgesetzt werden. Vorbeugen kann jedoch nur, wer die Gefahren kennt. Deshalb erstellen die Kantone im Auftrag des Bundes Gefahrenkarten für den Schutz vor Naturgefahren. Diese Karten sind eine wichtige Voraussetzung für raumplanerische, wasserbauliche und forstwirtschaftliche Massnahmen zum Schutz von Menschen und Sachwerten.

Während die Baudirektion die durch Hochwasser gefährdeten Gebiete im Kanton Zürich erhebt und in Gefahrenkarten festhält, erfasst die Volkswirtschaftsdirektion die Rutsch-, Erosions- und Steinschlaggebiete. Dies vor allem im Zusammenhang mit der Festlegung von Wald mit Schutzfunktionen. Das Zürcher Wasserwirtschaftsgesetz (WWG) definiert jene Gebiete als Gefahrenbereiche, in denen mit häufigen oder stark schädigenden Hochwassern zu rechnen ist. In einer ersten Phase erarbeitet das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), zusammen mit den beauftragten Ingenieurbüros, die Gefahrenkarten für die am meisten gefährdeten dreissig Gemeinden. Diese Hochwasser-Gefahrenkarten werden dann, nach Anhören der Gemeinden, von der Baudirektion festgesetzt. Die Gemeinden nehmen die Gefahrenbereiche in die Richt-, Nutzungs- und Notfallplanung auf, machen die betroffenen Gebäudeeigentümer auf die potenziellen Wassergefahren aufmerksam und ordnen die notwendigen Massnahmen an. Die Eigentümer bestehender Bauten werden dabei aufgefordert, die Nutzungen der entsprechenden Gefahrenstufe anzupassen oder im Einzelfall Objektschutzmassnahmen auszuführen.

Für die auf Solidarität aufgebaute Gebäudeversicherung ist die Erfüllung der schadenverhütenden Massnahmen durch die Grundeigentümer Voraussetzung für die vorbehaltlose, volle Schadendeckung. Die vorliegende Richtlinie «Objektschutz gegen Naturgefahren» gibt ihnen sowie den Baubehörden, den projektierenden Architekten und Ingenieuren Informationen und Hilfestellung für die konkreten Objektschutzmassnahmen.

Das Handbuch wurde ursprünglich im Auftrag der Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons Sankt Gallen erstellt. Handbuch und Verfasser erfuhren eine besondere Würdigung. Die Stiftung Umwelt und Schadenvorsorge der Gebäudeversicherung Stuttgart verlieh dieser Richtllinie den Förderpreis des Jahres 2000. Dabei wurde insbesondere die Praxisnähe der Arbeit gewürdigt.

Mit der vorliegenden Richtlinie stellen wir den interessierten Kreisen im Kanton Zürich ein praxisnahes Hilfsmittel für individuell wirksame Objektschutzmassnahmen zur Verfügung. Ermöglicht hat dies die Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons Sankt Gallen mit ihrer grosszügigen Lizenzerteilung, wofür wir uns herzlich bedanken.

Zürich, Februar 2003

Baudirektion Kanton Zürich

Dorothée Fierz
Regierungsrätin

Gebäudeversicherung Kanton Zürich

Franco Oss
Direktor-Stv.

Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren

Inhalt

Einführung

Lawinen

Hochwasser

Rutschungen

Murgänge

Steinschlag

Anhang

Naturgefahren?

Diese Richtlinie beschäftigt sich mit folgenden Naturgefahren:
· Lawinen *
· Hochwasser
· Rutschungen
· Murgänge (Rüfen) *
· Steinschlag

Diese Gefahrenarten treten in der Schweiz jährlich auf und verursachen teils erhebliche Schäden an Gebäuden. Wenn immer möglich wird versucht, diesen Gefahren im Raum auszuweichen.

* Im Kanton Zürich sind Lawinen und Murgänge äusserst selten und nur im Tössstockgebiet denkbar.

Denkt man an Überschwemmungen, so wird klar, dass gerade das Ausweichen vor dieser Gefahr in unserem beschränkten Kulturraum schwierig wird. Kann die Gefährdung nicht mittels verhältnismässigen Mittel reduziert werden, so sind Gebäude mit Massnahmen des Objektschutzes zu sichern.

Objektschutz?

Der Objektschutz stellt eine effiziente Lösung dar, um das Personen- und Sachwertrisiko zu reduzieren. Das Gebäude wird unempfindlich ausgebildet, so dass einwirkende Gefahren der Baute nur gering Schaden zufügen können. Oftmals lässt sich bei Neubauten durch kleinste Anpassungen ein hohes Schadenpotential zweckmässig schützen.

Gerade bei einer Gefährdung durch Überschwemmung lassen sich so ohne Nutzungseinschränkung und Mehrkosten wesentliche Schäden verhüten.
Verallgemeinert dargestellt kommen folgende Objektschutz-Strategien in Frage:

Gefährdungsart	Baute	Objektschutz Strategien
Lawine	bestehend	· Verstärkungsmassnahmen an Öffnungen und Aussenwänden · Dammkonstruktionen oder Spaltkeil zur Abschirmung
	Neubau	· Ort von Öffnungen, Formgestalt, Verstärkungen · Dammkonstruktionen, Spaltkeil oder Ebenhöch
Hochwasser	bestehend	· Rückstauschutz Kanalisation, Verankerung Öltanks · Lichtschächte anheben, Dämme und Mauern · Abdichtung von Öffnungen und Aussenwänden
	Neubau	· Erhöhte Lage des Erdgeschosses resp. der Öffnungen · Angepasstes Nutzungskonzept von Innenräumen · Anordnung auf einer Anschüttung oder Dämme und Mauern

Gefährdungsart	Baute	Objektschutz Strategien
Rutschung / Einsturz	bestehend	· Flexible Leitungsanschlüsse, Abführung Meteorwasser · Stabilisierung der Rutschmasse, Gebäudeausrichtung
	Neubau	· Terraingestaltung, Standortwahl, Steifigkeit der Baute · Stabilisierungs- und Verstärkungsmassnahmen, Lastabtragung
Murgang / Hangmure	bestehend	· Verstärkungsmassnahmen an Öffnungen und Aussenwänden · Dammkonstruktionen oder Spaltkeil zur Abschirmung
	Neubau	· Formgestalt, Ort und Höhenlage von Öffnungen, Verstärkungen · Dammkonstruktionen, erhöhte Anordnung oder Spaltkeil
Steinschlag / Blockschlag	bestehend	· Verschalungs- und Verstärkungsmassnahmen · Damm-, Mauer- und Netzkonstruktionen zur Abschirmung
	Neubau	· Ort von Öffnungen und Nutzungskonzept des Aussenraumes · Verschalungs- und Verstärkungsmassnahmen an Aussenwänden · Damm-, Mauer-, Netzkonstruktionen oder Ebenhöch

Neben diesen Möglichkeiten ist auch auf die fachtechnischen Grenzen des Objektschutzes hinzuweisen. Diese werden bei ausserordentlich intensiven Ereignissen erreicht. Den auftretenden Beanspruchungen kann mittels üblichen Verstärkungen nicht begegnet werden. Es wären eigentliche Bunkerkonstruktionen notwendig.

Wer ist wann angesprochen?

Diese Richtlinie wendet sich an Ingenieure, Architekten und Baubehörden. Durch die Darstellungen und Hinweise sollte es möglich sein, für Neubau-, Umbau- oder allgemein zu schützende Objekte eine massgeschneiderte Lösung zu erarbeiten. Die lokalen Baubehörden prüfen im Rahmen des Bewilligungsverfahrens die Zweckmässigkeit der vorgesehenen Vorkehrungen. Zur Zeit liegen leider erst vereinzelt Gefahrenkarten vor, welche Art und Grad der Gefährdung im Siedlungsgebiet darstellen. Die Erstellung solcher Karten wird stark vorangetrieben. In der Zwischenzeit soll aufgrund von Aufzeichnungen bezüglich historischer Ereignisse oder durch einen Gefahrenfachmann die Gefährdung abgeschätzt werden.

Naturgefahren

Die bedeutendsten in der Schweiz auftretenden Naturgefahren können folgendermassen klassiert werden:

Klasse	Gefahrenarten
Gravitative Gefahren	Lawine, Hochwasser, Rutschung, Murgang, Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, Bergsturz, Eisschlag
Klimatische Gefahren	Trockenheit, Hitze, Kälte, Sturmwind, Hagelschlag
Tektonische Gefahren	Erdbeben

Die Klasse der gravitativen Gefahren weist eine ausgeprägte Standortgebundenheit auf.
Das heisst, diese Gefahren treten nicht überall auf. Sie sind raumgebunden. Bereiche hoher Gefährdung und Bereiche ohne Gefährdung liegen oft sehr nahe nebeneinander. Diese Gefahrenarten besitzen daher eine entsprechend hohe raumplanerische Bedeutung.
Wenn im Rahmen von Richt- und Nutzungsplänen (Gemeindezonenplänen) von 'Gefahrengebieten' gesprochen wird, so handelt es sich hierbei um die Gefährdung durch gravitative Gefahren. Ihr Hauptantrieb ist die Gravitationskraft und das Wirkungsgebiet wird in den meisten Fällen durch die Topographie begrenzt.
Aus dieser Charakterisierung geht hervor, dass den gravitativen Gefahren im Raum ausgewichen werden kann. Dies gilt nur in viel geringerem Mass für die klimatischen und tektonischen Gefahren in der Schweiz. Jedes Gebäude ist zum Beispiel einer Erdbebengefährdung ausgesetzt. Aus diesem Grund sind Objektschutzmassnahmen gegen Erdbebeneinwirkungen standardmässig in die allgemeinen fachtechnischen Baunormen eingeflossen.
Einwirkungen durch gravitative Gefahren sind dagegen lediglich bei Bauvorhaben in Gefahrengebieten zu berücksichtigen (vgl. «Mustervorschrift für planungs- und baurechtliche Festlegungen im Kanton Zürich» am Schluss dieses Kapitels). Wo sich diese Gebiete befinden wird im Rahmen von Gefahrenanalysen untersucht. Deren Ergebnisse fliessen in die Raumplanung und entsprechend in die Bauvorschriften der betroffenen Gebiete ein.

1

Die folgende Charakterisierung der gravitativen Gefahren beruht auf der Sichtweise der Gefährdung betroffener Objekte.

Es wird also nicht die Auslösung oder der Ablauf des Naturprozesses in den Mittelpunkt gestellt, sondern dessen Art der Einwirkung auf Objekte.

2

Lawinen

Lawinen können nach sehr unterschiedlichen Kriterien klassiert werden. Hinsichtlich zu ergreifender Objektschutzmassnahmen ist die Unterscheidung in Fliesslawinen und Staublawinen von Interesse.

Als weiteres Phänomen, welches Objektschutzmassnahmen verlangt, wird Schneegleiten betrachtet.

3

Lawinen: Fliesslawine

Die Schneemassen stürzen vorwiegend fliessend oder gleitend auf der Unterlage ab. Die mehr oder weniger grossen Schollen bleiben während der Bewegung mit dem Boden in Kontakt. Die Dichte einer Fliesslawine ist mit jener der natürlich abgelagerten Schneedecke vergleichbar. Befindet sich beim Abbruch die Gleitfläche in der Schneedecke, spricht man von Oberlawinen. Bei Bodenlawinen befindet sich die Gleitfläche auf der Bodenoberfläche. Man spricht von Grundlawinen, wenn eine nasse,

mit Fremdmaterial durchsetzte Frühjahrslawine in meist runsenförmiger Sturzbahn auftritt. Die Geschwindigkeiten von Fliesslawinen betragen in der Sturzbahn rund 10 bis 40 m/s. Dadurch entstehen Staudrücke, welche Gebäude zerstören können.

4



5

Lawinen: Staublawine

Staublawinen entwickeln sich immer aus Fliesslawinen. Sie bestehen aus einer aufgewirbelten Schneewolke, die sich stiebend durch die Luft bewegt. Reine Staublawinen ohne Fliessanteil entstehen nur dann, wenn die Fliesslawine beim steilen Absturz vollständig suspendiert wird oder wenn sich Fliess- und Staubanteil aufgrund der Geländeverhältnisse trennen. Ihre Dichte ist viel kleiner und die Fliesshöhe grösser als bei der Fliesslawine. Die Geschwindigkeiten von Staublawinen betragen 20 bis 80 m/s. Sie können selbst bei Gegengefälle noch auf grossen Strecken Schaden anrichten. Der durch die Staublawine erzeugte Staudruck vermag Bäume und Leitungsmasten zu knicken sowie Fenster und Dächer von Gebäuden schwer zu schädigen.

An der Gebäudefassade bleibt der angepresste Schneestaub sichtbar.

6



7

Lawinen: Schneegleiten

An glatten, stark besonnten Böschungen kann es zu anhaltenden Kriech- und Gleitbewegungen der Schneedecke kommen. Starkes Schneegleiten kann zu einem typischen, sichelförmigen Aufreissen der Schneedecke führen.
Hinter Gebäuden bilden sich hier- durch grosse Schneedruckkräfte.



Hochwasser

Hochwasser gefährden sowohl durch Ufererosionen entlang des Gerinnes, wie auch durch Überschwemmung. Hinsichtlich des Objektschutzes sind neben der Wirkung des Wassers auch die mitgeführten Feststoffe (Geschiebe, Sedimente, Treibholz u.a.) von Bedeutung.

Hochwasser: Ufererosion

Bei Ufererosionen können zwei verschiedene Arten der Einwirkung unterschieden werden. Erstens durch den direkten Strömungsangriff und zweitens durch ein Abgleiten der Uferböschungen. Das entscheidende Sicherheitskriterium für Bauten und Anlagen ist bei direktem Strömungsangriff die Resistenz gegenüber dynamischen Einwirkungen des Wassers und mitgeführten Feststoffen. Für den Fall des Abgleitens der Uferböschung ist die Fundationstiefe der Baute entscheidend.

Besonders exponierte Stellen für Ufererosionen sind Prallhänge, Engstellen oder Hindernisse im Abflussbereich.



Hochwasser: Überschwemmung

Die Überschwemmung spielt sich unterschiedlich ab, je nach Topographie des betroffenen Geländes und der Art des Ausbruchs aus dem Gerinne. In flacheren, plateauähnlichen Gebieten und entlang von Seen ist die Fliessgeschwindigkeit und der Anstieg der Wassertiefe des ausgetretenen Wassers meist relativ langsam.
Der massgebende Schadenparameter ist die maximal erreichte Überschwemmungstiefe. Bei trogähnlicher oder steiler Topographie, sowie im Bereich von Engstellen von Siedlungen sind höhere Fliessgeschwindigkeiten zu erwarten. Dies ist auch im Nahbereich von Dammbreschen der Fall.
Die massgebenden Schadenparameter sind hier sowohl die Überschwemmungstiefe, wie auch die Fliessgeschwindigkeit.

Lokal können innerhalb überschwemmter Bereiche auch Schäden durch Erosion und Feststoffablagerung entstehen.
Schäden an Objekten entstehen durch dynamische Einwirkungen und durch die Nässe und den eingelagerten Schmutz.



1 Rutschungen

Rutschungen können nach sehr verschiedenen Kriterien klassiert werden. Aus der Sicht des Objektschutzes ist die Tiefenlage der Gleitfläche der wesentliche Parameter.

2 Rutschungen: Flachgründige Rutschungen

Als flachgründig werden Rutschungen mit einer Tiefe der Gleitfläche von max. 2 m bezeichnet. Das bewegte Feststoffvolumen ist beschränkt. Es handelt sich in der Regel um Rutschungen, welche bei ausserordentlichen Niederschlagsverhältnissen spontan losbrechen. Ein hoher Staudruck des Bodenwassers ergibt sich etwa nach intensiven Dauerniederschlägen. Bei sehr hoher Wassersättigung des Bodenkörpers kann sich aus der flachgründigen Rutschung eine Hangmure entwickeln (vgl. weiter hinten). Permanente Bewegungsraten werden bei flachgründigen Rutschungen selten angetroffen. Oft existieren jedoch flachgründige Kriechvorgänge, dabei bildet sich keine eigentliche Gleitschicht aus.

Die Einwirkung auf Bauten erfolgt durch die Stosswirkung der bewegten Erdmasse. Bei Gebäuden handelt es sich dabei in der Regel um Einwirkungen auf Aussenwände ohne die Fundation zu beeinflussen.



5 Rutschungen: Mittel- bis tiefgründige Rutschungen

Rutschungen mit einer Tiefe der Gleitfläche von 2 bis 10 m werden mittelgründig und solche mit mehr als 10 m Tiefe als tiefgründig bezeichnet. Die Art der Ausbildung der Gleitfläche, sowie das Bewegungsverhalten können sehr unterschiedlich sein. Zwischen den beiden extremen Ausbildungen einer permanenten Bewegung und einer einmaligen Spontanbewegung sind viele Übergangsformen möglich. Die Rutschfläche kann sich ähnlich einer Halbkugel rotationsförmig ausbilden oder als Schublade mit ebener Gleitfläche. Hierbei sind wieder je nach Art des Bodenaufbaus vielfältige Übergangsformen möglich. Bei solchen Rutschbewegungen handelt es sich um exponentiell grössere bewegte Feststoffvolumen als bei flachgründigen Rutschungen.

Die auftretenden Erddruckkräfte nehmen daher schnell Grössenordnungen an, welche sich nicht mehr oder nur mittels sehr aufwendigen Stützkonstruktionen beeinflussen lassen. Gebäude werden bei solchen Rutschungen in der Regel vollständig von der Bewegung erfasst. Die Grösse und die Homogenität der Bewegungsgeschwindigkeit über den gesamten Rutschkörper beeinflussen das Mass der aufretenden Schäden.



Rutschungen / Einsturz: Einsturz- und Absenkungsphänomene

Einsturz- und Absenkungsphänomene treten auf, wenn unterirdisch Feststoffmaterial entfernt wird. Dies geschieht durch Auslaugung eines löslichen Untergrundes (Gips, Rauhwack, Kalk) oder durch Ausschwemmung feiner Kornfraktionen (innere Erosion). Der Vorgang macht sich an der Oberfläche als allmähliche (Absenkung) oder spontane (Einsturz) Einsinkbewegung bemerkbar.



Murgänge

Murgänge können in grober Vereinfachung als Zwischenform von Hochwassern und Rutschungen bezeichnet werden. Der Prozess wird auch als Mure, Schlammstrom, Schlammlawine, Geröll-Lawine oder im Dialekt «Rüfe» bezeichnet. Murgänge treten in steilen Gerinnen und steilen Hängen auf (Hangmure).
In Gerinnen löst ein Murgangstoss oft eine erhebliche Tiefen- und Seitenerosion aus.

Die Einwirkung ist in diesem Fall vergleichbar mit der Ufererosion bei Hochwasser. Tritt der Murgang aus dem Gerinne aus, so spricht man von der Übermurung.

Murgänge: Übermurung ausgehend von Gerinnen

Die massgebliche Einwirkung der Übermurung ist die Stosskraft der mitgeführten Feststoff-Wasserfracht.

Je nach Topographie und Gestalt der betroffenen Bauten handelt es sich lediglich um ein Umfliessen und Überfliessen oder um einen Aufprall.



Murgänge: Übermurung ausgehend von Hängen (Hangmure)

Hangmuren bilden sich an relativ steilen Hängen. Das Losbrechen der wassergesättigten Lockergesteinsfracht erfolgt plötzlich. Der hohe Wasseranteil begünstigt ein schnelles Weiterfliessen was zu einer vollständigen Umlagerung des Bodenkörpers führt.
Die Einwirkung auf Bauten kann mit der Übermurung ausgehend von Gerinnen verglichen werden.



Sturzprozesse

Als Sturzprozesse werden im folgenden Stein- und Blockschlag behandelt. Eisschlag ist synonym zu behandeln, wobei lediglich die unterschiedliche Dichte zu berücksichtigen ist.

Nicht weiter behandelt werden der Felssturz und der Bergsturz. Bei diesen Sturzprozessen sind die auftretenden Massen und Energien so gross, dass Objektschutzmassnahmen versagen.

Sturzprozesse: Steinschlag, Blockschlag

Es handelt sich um mehr oder weniger isolierte Stürze von Steinen (mittl. Durchmesser < 0.5 m) und Blöcken (mittl. Durchmesser > 0.5 m). Dieser wiederholt oder mit saisonalen Spitzen ablaufende Prozess dokumentiert den stetigen, durch Geologie und Verwitterung bestimmten Zerfall einer Ablösungsquelle, z.B. Felswand. Die Sturzgeschwindigkeiten liegen im Bereich von 5 bis über 30 m/s. Bei der Bewegungsform ist zwischen Gleiten, Rollen, Springen und Fallen zu unterscheiden.

Bei Hangneigungen von weniger als 30° werden Steine und Blöcke im allgemeinen langsam abgebremst. Dabei verkleinert sich die momentane Sprungweite laufend. Eine dichte Bestockung (Wald) kann zusätzlich mehr oder weniger Energie abbauen. Die Einwirkung auf Objekte geschieht durch die Stosskraft der Einzelkomponenten. Hierbei sind die Geschwindigkeit und die Masse massgebend.



Methodik der Gefahrenkarten

Grundlage für die nachfolgenden Ausführungen sind die folgenden Richtlinien und Empfehlungen des Bundes:
· Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bundesamt für Forstwesen, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 1984
· Empfehlungen, Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1997
· Empfehlungen, Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Wasserwirtschaft, 1997

Die Gefahrenkarte besteht aus einem Kartenteil plus einem erläuternden Bericht. Die Karte stellt den Grad der Gefährdung dar. Der Textteil liefert die notwendigen Erläuterungen und Begründungen.

Gefährdungsstufen

Die Gefahrenkarte gibt mit den Farben rot, blau, gelb und weiss die raumplanerische Bedeutung wieder, wie sie in erster Linie für die Nutzung durch Gebäude gelten sollen:

Gefahrenbereich	sachliche Bedeutung	raumplanerische Bedeutung
rot	erhebliche Gefährdung	Verbotsbereich
blau	mittlere Gefährdung	Gebotsbereich
gelb	geringe Gefährdung	Hinweisbereich
gelb-weiss	Restgefährdung (Intensität gross, Wahrscheinlichkeit sehr klein)	Hinweisbereich
weiss	nach derzeitigem Kenntnisstand keine oder vernachlässigbare Gefährdung	keine Einschränkungen

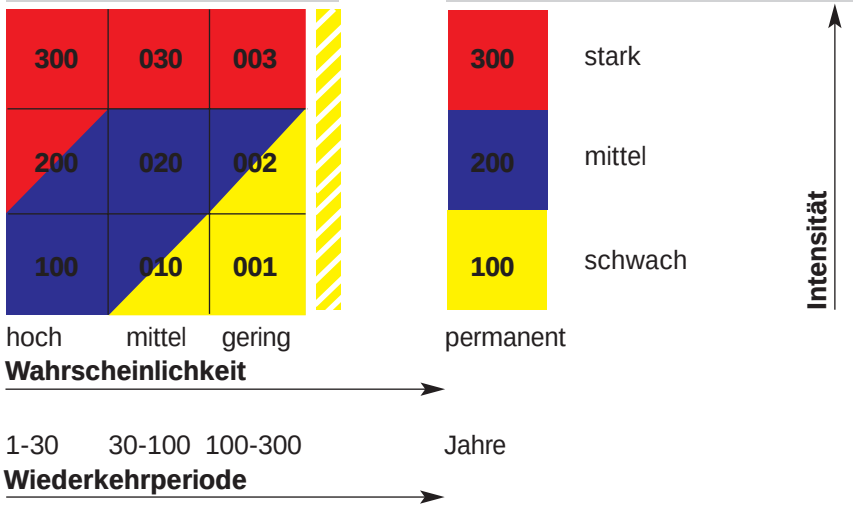
Dieses einfache Schema ist auf die Nutzungsform von Wohngebäuden ausgerichtet.

Die Farben nach Gefahrenbereich ergeben sich aus dem Zusammenhang von Intensität und Wahrscheinlichkeit (Häufigkeit oder Wiederkehrperiode). Um den teils sehr unterschiedlichen Prozessen Rechnung zu tragen, gelten für die verschiedenen Prozesse unterschiedliche Diagramme.

Gültigkeit der Diagramme nach Prozessen

Lawine
Stein- und Blockschlag
Eisschlag
Hochwasser
Murgang / Hangmure
Spontanrutschung
Einsturz

Permanente Rutschung / Absenkung



Bei allen Prozessen, die nicht permanent auftreten, ist grundsätzlich die Möglichkeit gegeben, die Restgefährdung in der Gefahrenkarte darzustellen.
Die Zahlen in den Matrixfeldern bezeichnen den genauen Zusammenhang von Intensität und Wahrscheinlichkeit:

Werte 100 bis 300:	Intensitäten schwach bis stark für hohe Wahrscheinlichkeit resp. permanentes Auftreten.
Werte 010 bis 030:	Intensitäten schwach bis stark für mittlere Wahrscheinlichkeit.
Werte 001 bis 003:	Intensitäten schwach bis stark für geringe Wahrscheinlichkeit.

Die Intensitätsstufen für die einzelnen Gefahrenarten sind auf der folgenden Seite dargestellt.
Bezüglich Spontanrutschungen und Einstürzen werden in den Bundesempfehlungen keine Intensitätsparameter vorgeschlagen.

In den Bundesempfehlungen werden zur Bezeichnung bestimmter Matrixfelder die Zahlen 1 bis 9 verwendet. Hier werden dazu die Zahlen 001 bis 300 bevorzugt, weil sich leichter lesbare Codes ergeben.

Intensitätsstufen

Prozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
Lawinen	$q < 3$ kN/m^2	3 kN/m^2 < q < 30 kN/m^2	$q > 30$ kN/m^2
Überschwemmung inkl. Übersarung	$h_f < 0.5$ m oder $v_f * h_f < 0.5$m^2/s	0.5m < h_f < 2m oder 0.5 < $v_f * h_f$ < 2m^2/s	$h_f > 2$m oder $v_f * h_f > 2$ m^2/s
Ufererosion	$h_u < 0.5$m	0.5m < h_u < 2m	$h_u > 2$m
Murgänge und Hangmuren	kommt nicht vor	h_f < 1m oder v_f < 1m/s	h_f >1m und v_f > 1m/s
Stein- und Blockschlag	E < 30kJ	30kJ < E < 300kJ	E > 300kJ
Rutschung / Absenkung permanent	$v_f \leq$ 2cm / Jahr	2cm / Jahr < v_f < 1dm/Jahr	v_f > 1dm / Jahr oder starke differentielle Bewegungen
Rutschung spontan / Uferrutschung	$h_r < 0.5$m	0.5m < h_r < 2m	$h_r > 2$m
Einsturz	kommt nicht vor	h_s < 0.5m und A_E < 1Are	h_s > 0.5m oder A_E > 1Are

E: kinetische Energie (Translations- plus Rotationsenergie)
q: Druck
h_f: Fliesshöhe
h_r: Tiefe der Gleitfläche
h_s: Setzungstiefe bei Einsturz
v_f: Geschwindigkeit
A_E: Fläche von Einsturztrichtern
h_u: Tiefe der Ufererosion

Häufigkeitsklassen

Bezüglich der Wahrscheinlichkeit resp. der Wiederkehrperiode sind gemäss den erwähnten Bundesempfehlungen bei Gefahrenbeurteilungen folgende 3 Häufigkeitsklassen zu berücksichtigen:

Wahrscheinlichkeit	Wiederkehrperiode
hoch	1 bis 30 Jahre
mittel	30 bis 100 Jahre
gering	100 bis 300 Jahre

Intensitätskarten

Für jede untersuchte Häufigkeitsklasse werden sogenannte Intensitätskarten erstellt. Die Intensitätskarten geben die drei Intensitätsstufen gemäss Bundesempfehlung als Umhüllende aller innerhalb einer Häufigkeitsklasse betrachteten Ereignisse flächenhaft wieder. Aus diesen Intensitätskarten können die massgebenden Einwirkungen für die Bemessung der Objektschutzmassnahmen entnommen werden.

1 Bezug zur Norm SIA 260

Die vorliegende Richtlinie ergänzt die Normen SIA 260, 261 und 261/1 in Bezug auf die Einwirkung von gravitativen Gefahren auf Gebäude. Sie legt das Vorgehen zur Bestimmung der Einwirkungen fest und vermittelt einheitliche Projektierungsunterlagen. Andererseits stellt die Norm SIA 260 die Grundlage für diese Richtlinie dar hinsichtlich des zu wählenden Bemessungskonzepts.

Die Schutzziele sind in der Nutzungsvereinbarung zu umschreiben. Das Schutzkonzept ist in der Projektbasis festzuhalten.

Tragsicherheit:
In Anlehnung an vergleichbare, ergänzende Werke zur SIA Norm 260 (z.B. Bundesamt für Strassen 1998) können folgende Festlegungen getroffen werden:

Wiederkehrperiode	Bezug zur Norm SIA 160
1 bis 30 Jahre	Die berechneten Einwirkungen (= Intensitäten) entsprechen dem Kennwert F_d gemäss Norm SIA 260, Ziffer 4.4.2.1 γ_Q = 1.3 (Lastbeiwert) γ_R = 1.2 (Widerstandsbeiwert)
30 bis 100 Jahre	Die berechneten Einwirkungen (= Intensitäten) entsprechen dem Kennwert A_d gemäss Norm SIA 260, Ziffer 3.2.2.8 γ_Q = 1.0 (Lastbeiwert) γ_R = 1.2 (Widerstandsbeiwert)
100 bis 300 Jahre	Die berechneten Einwirkungen (= Intensitäten) entsprechen dem Kennwert A_d gemäss Norm SIA 260, Ziffer 3.2.2.8 γ_Q = 1.0 (Lastbeiwert) γ_R = 1.0 (Widerstandsbeiwert)

F_d: normale Einwirkung
A_d:aussergewöhnliche Einwirkung

Gebrauchstauglichkeit:
Die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und die Einwirkungen für deren Nachweis sind gemeinsam vom Projektverfasser und Bauherrn festzulegen und in der Projektbasis gemäss SIA 260 festzuhalten.

Im Kanton Zürich erhält die vorgehend dargestellte Einteilung in drei Gefährdungsstufen mit ihren raumplanerisch-baurechtlichen Bedeutungen die Verbindlichkeit durch die folgende Mustervorschrift für Bauordnungen:

Als Naturgefahrengebiete werden Gebiete bezeichnet, die durch Hochwasser, Murgänge, Lawinen, Rutschungen, Steinschlag, Blockschlag, Felssturz und Eissturz bedroht sind.

In den Naturgefahrengebieten haben Bauten und Anlagen besonderen Anforderungen an den Personen- und Sachwertschutz zu genügen. Massgebend ist die Richtlinie «Objektschutz gegen Naturgefahren» der Baudirektion Kanton Zürich und der Gebäudeversicherung Kanton Zürich. Für die einzelnen Gefahrengebiete gelten folgende Vorschriften:

a) Gefahrengebiet rot: Bestehende Bauten und Anlagen dürfen unterhalten und zeitgemäss erneuert werden. Weitergehende Massnahmen wie z.B. die Pflicht zur Ausführung von Objektschutzmassnahmen bleiben vorbehalten. Die Erstellung von neuen Bauten und Anlagen ist untersagt.

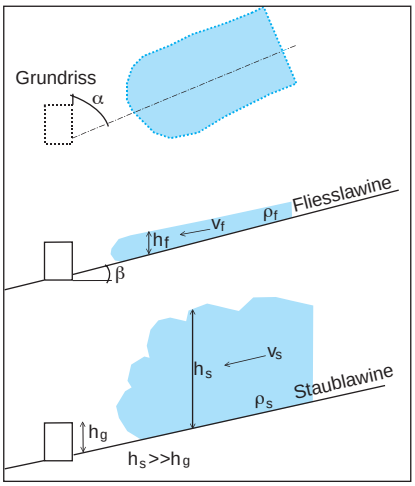
b) Gefahrengebiet blau: Bestehende Bauten und Anlagen dürfen unterhalten und zeitgemäss erneuert werden. Bauliche Veränderungen, die darüber hinausgehen (Umbauten, Erweiterungen, Ersatzbauten, Neubauten), sind nur zulässig, wenn für das Bauvorhaben die notwendigen Objektschutzmassnahmen getroffen werden.

c) Gefahrengebiet gelb: Umbauten, Erweiterungen, Ersatzbauten und Neubauten sind zulässig. Für öffentliche Bauten und Anlagen sowie besondere Bauvorhaben wie Bauten für grosse Menschenansammlungen, mit hohen Sachwerten oder hohem Folgeschadenpotential sind die Objektschutzmassnahmen verbindlich einzuhalten. Für die übrigen Bauten und Anlagen gelten die Objektschutzmassnahmen als Empfehlung.

Arbeitsschritt	Bauherr	Projektverfasser	Naturgefahren-fachmann	Baubehörde
Projektierung	definiert seine Projektvorstellungen	konsultiert Zonenplan und Baureglement		gibt Auskunft über bestehende Unterlagen bezüglich Gefahrenabklärungen
	lässt bei fehlenden Gefahrengrundlagen eine Einzelabklärung durchführen	konsultiert Gefahrenkarte/Intensitätskarten und Bericht; prüft, ob andere Massnahmen geplant oder in Ausführung sind	erläutert bei Bedarf die Ergebnisse der Gefahrenkarte oder führt bei fehlenden Gefahrengrundlagen eine Einzelabklärung durch	
	definiert im Rahmen des Sicherheitsplanes die Schutzziele für jeden Raum im Gebäude	skizziert mögliche Konzeptionen von schadenunempfindlicher Gebäudestruktur und -anordnung	gibt bei Bedarf Auskunft über bewährte Objektschutzmassnahmen	
		ermittelt die Gefährdungsbilder und bestimmt die Beanspruchungen		
	wählt die definitive Projektvariante aus	bestimmt die definitve Gestalt von Gebäude, Umgebung und Objektschutzmassnahmen		
		führt die Bemessung auf Tragsicherheit durch und weist die Gebrauchstauglichkeit nach		
		reicht die Projektunterlagen als Baugesuch ein		
Bewilligung			unterstützt bei Bedarf die Baubehörde bei ihrer Prüfung	prüft das Projekt hinsichtlich der getroffenen Objektschutzmassnahmen
				erteilt die Baubewilligung evtl. unter Vorbehalt weiterer Bauauflagen
Ausführung		begleitet die Bauausführung, überwacht die korrekte Anordnung der Objektschutzmassnahmen		
Kontrolle				kontrolliert die Ausführung der vorgeschriebenen Objektschutzmassnahmen



Bezeichnungen



h_n [m] natürlich abgelagerte Schneehöhe
h_f [m] Fliesshöhe der Fliesslawine
h_s [m] Fliesshöhe der Staublawine
h_{stau} [m] Stauhöhe der Fliesslawine
v_f [m/s] Geschwindigkeit der Fliesslawine
v_s [m/s] Geschwindigkeit der Staublawine
g [m/s²] Erdbeschleunigung (10 m/s²)
l_h [m] Dicke der Stahlbetonwand
l_s [m] Spannweite der Stahlbetonwand
ρ_n [t/m³] Dichte des natürlich abgelagerten Schnees
ρ_a [t/m³] Dichte des abgelagerten Lawinenschnees
ρ_f [t/m³] Dichte der Fliesslawine
ρ_s [t/m³] Dichte der Staublawine
h_g [m] Gebäudehöhe
m [t] Masse einer Einzellast
α [°] Ablenkwinkel
β [°] Hangneigung
γ [°] Öffnungswinkel des Spaltkeils
δ [°] vertikaler Umlenkwinkel bei Ebenhöch
l_u [m] Umlenkstrecke bei Ebenhöch
q_n [kN/m²] Druck des natürlich abgelagerten Schnees
q_f [kN/m²] Druck der Fliesslawine
q_s [kN/m²] Druck der Staublawine
q_a [kN/m²] Druck des abgelagerten Lawinenschnees
q_u [kN/m²] Druck der vertikalen Umlenkung bei Ebenhöch
q_k [kN/m²] Druck infolge Schneegleiten und -kriechen
$q_{x,r}$ [kN/m²] spezifische Reibung
q_e [kN/m²] statischer Ersatzdruck einer Einzellast (Anprall)
c_d [-] Widerstandskoeffizient
μ [-] Reibungskoeffizient
λ [-] Stauhöhenkoeffizient
A [m²] Anprallfläche einer Einzellast
N [-] Gleitfaktor
K [-] Kriechfaktor
Q_e [kN] statische Ersatzkraft einer Einzellast (Anprall)

Charakterisierung

Im Auslaufgebiet verlangsamen sich die Fliesslawinen durch das flachere Terrain und die Ausbreitung. Die Fliessgeschwindigkeit reduziert sich unter 10 m/s und die Fliesshöhen liegen in einem typischen Bereich von 2 bis 10 m.

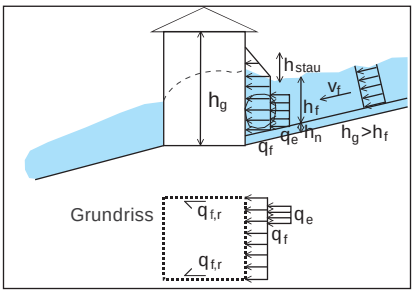
Die Fliesshöhe von Staublawinen erreicht im Auslaufgebiet oft mehr als 50 m.

Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung von Objektschutzmassnahmen bedarf es Angaben zur *Fliesshöhe,Geschwindigkeit* und *Dichte* der Fliesslawine. Als Alternative zur Geschwindigkeit kann der *Druck* auf ein senkrecht zur Lawinenrichtung stehendes, ebenes und grosses Hindernis zur Bemessung verwendet werden.

Bei Staublawinen genügt als Bemessungskriterium ein Richtwert bezüglich des zu erwartenden *Staudruckes.*
Diese Angaben können aus den Intensitätskarten und dem technischen Bericht abgeleitet werden. Existieren keine Intensitätsangaben, so sind diese durch einen Gefahrenfachmann zu bestimmen.

Gefährdungsbild 1

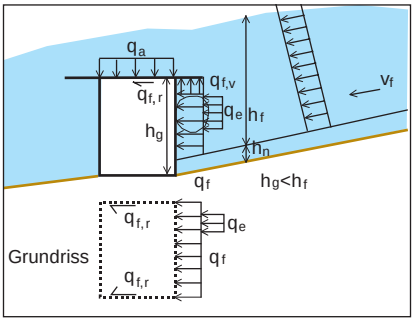


Fliesslawine umfliesst rechteckiges Gebäude

Die Fliesslawine prallt auf die Stirnseite eines Gebäudes. Durch den Aufprall entsteht eine Stauhöhe h_{stau}, welche zusammen mit der Fliesshöhe h_f und der natürlich abgelagerten Schneehöhe h_n die Gebäudehöhe nicht überragt.

Auf die Dachkonstruktion wird daher keine direkte Einwirkung ausgeübt. Der Druck q_f auf der Gebäudeaussenseite stellt die Haupteinwirkung dar. Diese wird durch die Gebäudeform, die Schneedichte und die Lawinengeschwindigkeit beeinflusst. Die Lawinengeschwindigkeit wird als konstant über die Lawinenhöhe angenommen. Für die Seitenwände und alle schräg angeströmten Wände ist ein um den entsprechenden Ablenkwinkel α reduzierter Druck zu berücksichtigen.
Im weiteren wirken auf diese Wände Kräfte infolge Reibung $q_{f,r}$. Ist mit dem Niedergang von Baumstämmen oder Blöcken zu rechnen, so ist dies mittels eines statischen Ersatzdruckes q_e zu berücksichtigen.

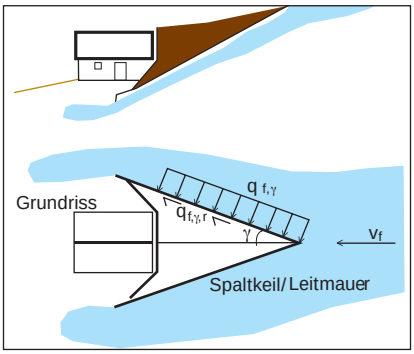
Gefährdungsbild 2



Fliesslawine überfliesst rechteckiges Gebäude

Die Fliesshöhe h_f ist grösser als die Gebäudehöhe h_g. Es sind sowohl Drücke q_f auf die Wände als auch auf vorspringende Dachbereiche von unten $q_{f,v}$ zu berücksichtigen. Durch das Überfliessen des Gebäudes entsteht eine vertikale Auflast q_a, welche zusätzlich zur natürlich abgelagerten Schneelast q_n für das Dach zu berücksichtigen ist. Im weiteren sind die Wände und das Dach der Reibung $q_{f,r}$ ausgesetzt. Ist mit dem Niedergang von Baumstämmen oder Blöcken zu rechnen, so ist dies mittels eines statischen Ersatzdruckes q_e zu berücksichtigen.

Gefährdungsbild 3



Fliesslawine umfliesst Gebäude mit Spaltkeil

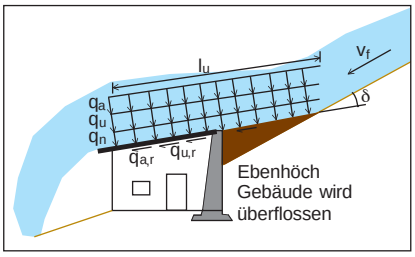
Dies stellt einen Sonderfall bezüglich des Gefährdungsbildes 1 dar.

Auf den Spaltkeil wirken Drücke infolge Umfliessung und Reibung. Auf den Keil wirkt der um den Ablenkwinkel reduzierte Druck $q_{f,\gamma}$. Der Ablenkwinkel γ darf höchstens 30° betragen, da sonst die Ablenkwirkung verloren geht und es sich um einen Anprall handelt (Gefährdungsbild 1). Der Spaltkeil muss überdies ausreichend in seiner Höhe bemessen sein, ansonsten auch Einwirkungen infolge Überfliessen zu berücksichtigen sind (Gefährdungsbild 2).

Ist mit dem Niedergang von Baumstämmen oder Blöcken zu rechnen, so ist dies mittels einer statischen Ersatzkraft in Form einer Einzellast zu berücksichtigen.

(Dieses Gefährdungsbild entspricht der Einwirkungsart, wie sie bei Leitmauern und -dämmen auftritt.)

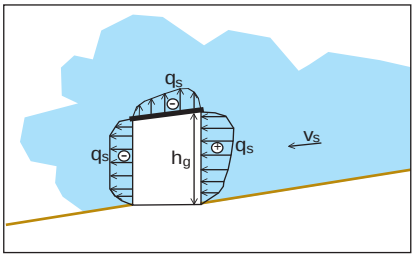
Gefährdungsbild 4



Fliesslawine überfliesst Gebäude mit Ebenhöch

Dies stellt einen Sonderfall von Gefährdungsbild 2 dar. Auf das ebenerdig angeordnete Dach wirken die Auflast der Lawine q_a und des natürlich abgelagerten Schnees q_n, sowie die Last infolge Umlenkung q_u . Die Belastung erfolgt in Form von normal und tangential (Reibung) angreifenden Kräften. Für die Seitenwände und allfällige schräg angeströmten Wände ist ein um den entsprechenden Ablenkwinkel α reduzierter Druck und die Reibung zu berücksichtigen.
(Dieses Gefährdungsbild entspricht der Einwirkungart, wie sie bei Lawinengalerien auftritt.)

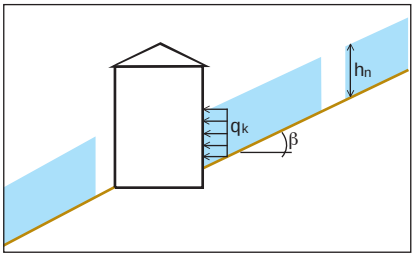
Gefährdungsbild 5



Staublawine wirkt auf Gebäude ein

Die Einwirkung einer Staublawine auf ein Gebäude ist mit der Einwirkung infolge Wind vergleichbar. Es gelten daher dieselben Ansätze wie nach SIA 261 Ziffer 6 (Wind).

Gefährdungsbild 6



Schneegleiten und -kriechen wirkt auf Gebäude ein

Das Schneegleiten und -kriechen wirkt sich als Schneedruck q_k auf die Stirnseite des Gebäudes aus. Diese Einwirkung ist im wesentlichen abhängig von der Dichte des Schnees, der Hangneigung, der Exposition, der Bodenbedeckung und der Schneehöhe.

Stauhöhe der Fliesslawine

Die Stauhöhe errechnet sich bei Fliesslawinen, welche auf Objekte aufprallen, zu:

$h_{stau} = (v_f^2) / (2 * g * \lambda)$ [m]

Stauhöhe bei Fliesslawinen

λ ist abhängig von der Fliesseigenschaft der Lawine:

$\lambda = 1.5$ [-]

leichte, trockene Lawinen

$2 \leq \lambda \leq 3$ [-]

dichte Lawinen

Druck der Fliess- und Staublawine

Der Druck infolge der dynamischen Beanspruchung ist abhängig von der Lawinengeschwindigkeit, der Dichte und der Form der umflossenen Baute, ausgedrückt durch den Widerstandskoeffizienten c_d.

$q_f = 0.5 * c_d * \rho_f * v_f^2$ [kN/m²]

Druck der Fliesslawine

Für Fliesslawinen und Bauten mit rechteckiger Grundrissfläche gilt allgemein $c_d = 2$ bis 3.

wobei $\rho_f = 0.3$ [t/m³]

Richtwert für Dichte von Fliesslawinen

Beispiel: Auf ein senkrecht zur Lawinenrichtung stehendes, ebenes und grosses Hindernis wird von einer Fliesslawine mit v_f=10 m/s ein Druck von

$q_f = 0.5 * 2 * 0.3 * 100 = 30$ kN/m²

ausgeübt.

Für Flächen, welche nicht senkrecht zur Fliessrichtung stehen, ist der Ablenkwinkel α zu berücksichtigen:

$q_{f,\alpha} = q_f * \sin^2\alpha$ [kN/m²]

Druck bei schräger Anströmung



Einwirkung durch Staublawine

Parallel zur Fliessrichtung stehende Seitenwände sind mit einem Lawinendruck zu bemessen, welcher sich bei einer Ablenkung der Schneemassen um $\alpha = \pm 20°$ ergibt.

Durch den Aufprall auf Wände können vertikal nach oben gerichtete Kräfte entstehen. Diese wirken zum Beispiel auf Dachvorsprünge und Balkonplatten ein und sind:

$q_{f,v} = q_f * 0.4$ [kN/m²]

Druck auf vorspringende Gebäudeteile von unten

Für *Staublawinen* können die c_d-Werte gemäss Norm SIA 261 Ziffer 6 (Wind) verwendet werden, wobei q als Staudruck zu interpretieren ist. Die grössere Dichte der Staublawine gegenüber derjenigen der Luft erhöht entsprechend den Staudruck. Als Richtwert des statischen Staudruckes kann bei Staublawinen vereinfacht angenommen werden:

$q_s = 3$ bis 5 [kN/m²]

Richtwert des Staudrucks bei Staublawinen

Die Druckwirkung des der Staublawine vorauseilenden Luftstosses wird oft überschätzt. Die maximale Druckbelastung beträgt ca. 5 kN/m².

1 Vertikale Auflast

Die Auflast des natürlich abgelagerten Schnees ist:

$q_n = h_n * \rho_n * g$ [kN/m²]

wobei $\rho_n = 0.4$ [t/m³]

Dichte natürlich abgelagerten Schnees (Richtwert)

Die Auflast des Lawinenschnees auf Bauten ist:

$q_a = (h_f - h_g) * \rho_a * g$ [kN/m²]

Auflast von Lawinenschnee

wobei $\rho_a = 0.5$ [t/m³]

Dichte für abgelagerten Lawinenschnee (Richtwert)

2 Vertikale Umlenkung

Druck durch vertikale Umlenkung q_u: (Gefährdungsbild 4)
Der statische Druck infolge vertikaler Umlenkung auf Dachbauten (Ebenhöch) ist:

$q_u = (\rho_f * h_f * v_f^2 * \sin\delta)/(l_u)$ [kN/m²]

Druck der Umlenkung

3 Reibung

Die Reibung wird mit Hilfe eines Reibungskoeffizienten μ berücksichtigt. Dieser beträgt:

$\mu = 0.3$ [-]

Kontakt: Schnee/Schnee

$\mu = 0.3$ [-]

Kontakt: Schnee/Beton

$\mu = 0.4$ [-]

Kontakt: Schnee/grober Boden resp. rauhe Flächen

Die spezifische Reibung parallel zur Fläche $q_{x,r}$ berechnet sich aus dem Druck senkrecht zur Fläche q_x wie folgt:

$q_{x,r} = \mu * q_x$ [kN/m²]

Spezifische Reibung

4 Anprallkraft von Einzelkomponenten

Können Baumstämme oder grössere Gesteine von der Lawine mitgerissen werden, so ist zusätzlich zum Druck der Lawine eine Anprallkraft solcher Einzelkomponenten zu berücksichtigen. Anhand der Berechnungsannahmen unter Kapitel Steinschlag kann mit folgenden statischen Ersatzkräften Q_e gerechnet werden, welche auf eine Betonwand mit Dicke $l_h = 0.3$ m und Spannweite $l_s = 2.5$ m einwirken: (Annahmen: duktiles Bruchverhalten, max. Durchbiegung 25 mm, keine Einspannung, $C_k = 0.4$, $\gamma_Q = 1.0$, $\gamma_R = 1.0$)

Masse des Blocks m	Lawinengeschwindigkeit v_f	Anprallfläche A	statische Ersatzkraft Qe
0.1 t	5 m/s	0.30 m x 0.30 m	20 kN
0.5 t	5 m/s	0.50 m x 0.50 m	100 kN
1.0 t	5 m/s	0.65 m x 0.65 m	200 kN
0.1 t	10 m/s	0.30 m x 0.30 m	80 kN
0.5 t	10 m/s	0.50 m x 0.50 m	400 kN
1.0 t	10 m/s	0.65 m x 0.65 m	800 kN

Die statische Ersatzkraft kann für andere Wanddicken l_h und Spannweiten l_s folgendermassen ermittelt werden:

$Q_e' = (Q_e * 2.5 * l_h)/(0.3 * l_s)$

Diese Einzellast ist gleichzeitig wirkend mit der Belastung q_f der Fliesslawine anzunehmen. Sie kann an beliebiger Stelle der Fliesshöhe der Lawine auftreten und verteilt sich gleichmässig über die Anprallfläche A:

$q_e = Q_e / A$ [kN/m²]

statischer Ersatzdruck einer Einzellast (Anprall)

Verhält sich die betroffene Wand nicht duktil sondern spröd (Durchstanzen der Einzellast), so sind entsprechend höhere statische Ersatzkräfte für die Bemessung massgebend (vgl. Kap. Steinschlag).

Druck infolge Schneegleitens und -kriechens

Der statische Druck infolge Schneegleitens und -kriechens beträgt:

$q_k = \rho_n * g * K * N * h_n * 0.5 * \cos\beta$ [kN/m²]

Druck infolge Gleiten und Kriechen

wobei $K = 0.83 * \sin 2\beta$ [-]

Kriechfaktor für $\rho_n = 0.4$ t/m³

Der Gleitfaktor N ist abhängig vom Bodenbewuchs und der Exposition:

Bodenbedeckung	Exposition WNW-N-ENE	Exposition ENE-S-WNW
Grober Blockschutt / vereinzelte Felsblöcke	1.2	1.3
Geschlossene Gebüschflächen / stark ausgebildete Höcker / grobes Geröll	1.6	1.8
Kurzhalmige Grasnarbe / feines Geröll / schwach ausgebildete Höcker	2.0	2.4
Glatte, langhalmige Grasnarbe / Glatte, anstehende Felsplatten	2.6	3.2

1 Einpassung in das Terrain



Eine gute Einpassung in das Terrain schützt die Baute vor dem direkten Lawinenangriff. Dies geschieht durch eine vertiefte Anordnung des Gebäudekörpers. Die lawinenseitig zu schützende Aussenwandfläche verringert sich mit dieser Massnahme.

2 Formgestalt der Baute

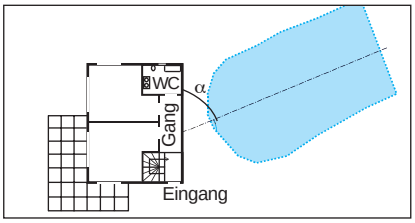


Die Formgestalt der Baute bestimmt die effektiv wirkenden Drücke auf die betroffenen Aussenwände. Keilförmige oder zumindest abgewinkelte Grundrissformen sind in Bezug auf die Hauptzuflussrichtung der Lawine günstig.

Sehr ungünstig wirken sich einspringende Ecken aus und Auswölbungen wie zum Beispiel Erker oder Kamine.
Im weiteren ist zu beachten, dass sich an der direkt betroffenen Aussenfassade keine Leitungen befinden (Dachwasserleitung, Öltankentlüftung u.a.).
Diese würden beim Lawinenanprall beschädigt oder abgerissen.

3

4 Nutzungskonzept der Innenräume



Das Personenrisiko in Gebäuden wird durch eine angepasste Raumnutzung reduziert. Im Bereich der direkt betroffenen Aussenwand werden Räume mit allgemein kurzer Aufenthaltsdauer von Personen angeordnet.

5 Lage von Öffnungen im Gebäudegrundriss

Gebäudeöffnungen wie Fenster und Türen stellen die markanteste Schwachstelle bei der Lawineneinwirkung dar. Daher werden Fenster in der lawinenseitigen Aussenwand vermieden oder zumindest sehr klein gehalten.

Solche Öffnungen bedürfen immer einer Verstärkung (vgl. weiter hinten). Lawinenseitige Eingänge sind nur in begründeten Ausnahmefällen möglich, sofern sie durch geeignete Massnahmen permanent geschützt sind.

6 Nutzungskonzept des Aussenraumes



Intensive Nutzungsformen im Bereich des Aussenraumes sollen sich in den durch die Baute geschützten Partien befinden. Sitzplätze und Balkone sind daher im Bereich des lawinenabgewandten Aussenraumes anzuordnen. Ebenso ist darauf zu achten, dass die Zufahrt und der Zugang zum Gebäude geschützt angeordnet werden.

7

Verstärkungs- und Verschalungsmassnahmen an der Struktur der Baute

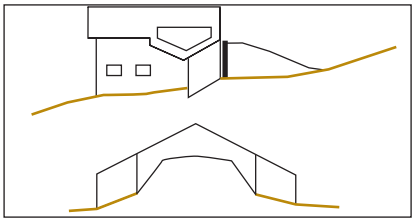
Sämtliche Tragelemente, welche im Einflussbereich der Lawine liegen, müssen gegen Druck- und Reibungskräfte sowie gegen nach oben und unten gerichtete Vertikalkräfte bemessen sein.

Verstärkung und Anschüttung von Aussenwänden



Die betroffenen Aussenwände sind nach dem wirkenden Druck zu bemessen. Dies erfordert in der Regel eine wesentliche Verstärkung dieser Aussenwände (vgl. detaillierte Angaben im Kapitel Steinschlag).
Die wirkende Reibung verhindert in der Regel die Verwendung von Fassadenverkleidungen (Schindeln aus Holz oder Kunststoff).
Zum Schutz von seitlichen Wänden kann als Alternative zur Verstärkung eine Flügelmauer angeordnet werden.

Durch eine Anschüttung kann die direkt betroffene Aussenwandfläche verringert werden.
Im Bereich der Anschüttung wirkt lediglich ein reduzierter Lawinendruck, dagegen ist der zusätzliche Erddruck zu berücksichtigen.



Schutz von Öffnungen



Lawinenseitige Fenster und Türen sind gemäss dem wirkenden Druck zu bemessen. Türen sind von aussen anzuschlagen. Bei Fenstern muss die auftretende Last über die Scheibe auf den Rahmen und von diesem auf die angrenzende Konstruktion abgetragen werden können. Bei schwachen Drücken (Staublawinen) sind mittels teilvorgespanntem Glas schlanke Konstruktionen möglich. Bei mittleren und hohen Drücken (Fliesslawinen) sind die Öffnungen klein zu wählen. Mittels Sprossen, Prallplatten oder Dammbalken kann die Einwirkung reduziert werden.
Diese Massnahmen sind zwingend notwendig, wenn mit dem Anprall von Einzellasten (Blöcke, Baumstämme) gerechnet werden muss.

Solche Schutzschilder können saisonal während dem Winterhalbjahr eingesetzt werden. Während den Sommermonaten ist der Lichteinfall über die betreffenden Öffnungen somit nicht behindert.

Die folgende Tabelle vermittelt eine Übersicht empfohlener Glasprodukte mit ihren Mindestdicken, sowie der entsprechenden Bemessung (Quelle: Schweiz. Institut für Glas am Bau):

Einfachglas 4-seitig gelagert, Abmessungen	**Druck q_s der Staublawine** 3 kN/m²	5 kN/m²
100 x 100 cm	VSG aus 2x5 mm TVG	VSG aus 2x5 mm TVG
120 x 100 cm	VSG aus 2x5 mm TVG	VSG aus 2x6 mm TVG
150 x 100 cm	VSG aus 2x6 mm TVG	VSG aus 2x8 mm TVG
150 x 60 cm	VSG aus 2x4 mm TVG	VSG aus 2x5 mm TVG

Einfachglas 4-seitig gelagert, Abmessungen	**Druck q_f der Fliesslawine** 10 kN/m²	30 kN/m²
30 x 30 cm	VSG aus 2x4 mm Float	VSG aus 2x6 mm Float
	VSG aus 2x4 mm TVG	VSG aus 2x5 mm TVG
60 x 60 cm	VSG aus 2x6 mm Float	VSG aus 2x12 mm Float
	VSG aus 2x5 mm TVG	VSG aus 2x8 mm TVG

VSG: Verbundsicherheitsglas nach EN 12543 Teil 2
Float: Spiegelglas nach EN 572-Teil 2
TVG: Teilvorgespanntes Glas nach prEN 1863

Verstärkung und Ausbildung des Daches







Bergseitige Dachvorsprünge sind zu vermeiden, wenn mit der vertikal von unten gerichteten Lawineneinwirkung gerechnet werden muss (Gefährdungsbild 2). Das Dach ist in die lawinenseitige Aussenmauer zu versenken (vgl. Fotos). Dachvorsprünge sind lediglich bei Seitenwänden erlaubt, wenn sie genügend geschützt sind. Dachpfetten und Sparren dieser seitlichen Vorsprünge sind im Mauerwerk zu verankern. Ist mit einem teilweisen Überfliessen des Daches zu rechnen (Gefährdungsbild 2), so ist die gesamte Dachkonstruktion auf die wirkende Belastung infolge Druck, Reibung und Auflast zu bemessen. In diesem Fall ist zu prüfen, ob die gesamte Konstruktion nicht eher als Ebenhöch (vgl. weiter hinten) auszubilden ist. Bei Staublawinengefährdung sind Dachvorsprünge zu vermeiden oder es ist eine schützende Verschalung vorzusehen. Es sind möglichst schwere Dachziegel zu wählen oder Befestigungsarten, welche dem Über- und Unterdruck standhalten.

Einzelne Abschirmungsmassnahmen können einen massgebenden Einfluss auf die Ausbreitung der Gefährdung ausüben.
Solche Massnahmen dürfen nur ergriffen werden, wenn sich durch deren Einsatz die Gefährdung von benachbarten Objekten nicht erhöht. Dieses Symbol soll auf diese Problematik hinweisen.

Damm



a) Auffangdamm
Ein Auffangdamm kann im Objektschutz als Massnahme gegen Schneerutsche oder kleinere Lawinen eingesetzt werden. Als Schutz gegen grössere Lawinen im Auslaufbereich wird dieses Bauwerk meistens in Kombination mit Bremsverbauungen wie etwa Bremshöcker verwendet. Ein Auffangdamm soll eine Lawine vollständig aufhalten können. Die dazu erforderliche Dammhöhe muss grösser sein als die Summe aus natürlich abgelagerter Schneehöhe, Fliesshöhe und Geschwindigkeitshöhe ($v^2/2g$) der Lawine. Die Staukapazität für das Volumen der Lawine muss ebenfalls nachgewiesen werden. Die statische Bemessung des Dammes richtet sich nach dem wirkenden Druck und dem Nachweis bezüglich Gleiten.

b) Ablenkdamm
Mit Hilfe eines Ablenkdammes kann die Lawine in eine gewünschte Richtung umgelenkt werden. Ablenkdämme mit Ablenkwinkeln von 20° bis 30° können noch mit einem vertretbaren Aufwand erstellt werden. Sind die Umlenkwinkel grösser, so werden die erforderlichen Bauwerkshöhen sehr gross und zudem ist das Abfliessen der Lawine nicht mehr gewährleistet.
Als Objektschutzmassnahme kommen Ablenkmauern oder
– dämme vor allem am Rande von Siedlungen zum Einsatz. Die Höhe des Ablenkdammes bemisst sich analog zum Auffangdamm, wobei die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Bauwerksachse massgebend ist.

Ebenhöch



Als Ebenhöch werden Bauten genannt, deren Dach bergseits nahtlos an das Terrain oder eine Anschüttung anschliesst. Die Lawine fliesst dadurch über die Baute hinweg. Besondere Beachtung muss hierbei der konstruktiven Ausbildung der Dachabschlüsse gewidmet werden. Eine spezielle Lösung muss zudem für Kamine gesucht werden (z.B. in Form eines ersetzbaren Leichtaufbaus).
Die statische Belastung ist in Gefährdungsbild 4 dargestellt. Die Seitenwände sind auf Druck und Reibung zu bemessen, sofern nicht auch hier der nahtlose Anschluss an das umliegendeTerrain ausgebildet wird.

Spaltkeil





Spaltkeile dienen als Objektschutz von Gebäuden und Masten.
Der Keil wird direkt am Objekt oder in unmittelbarer Nähe davon angeordnet. Die Schneemassen werden geteilt und links und rechts am zu schützenden Objekt vorbeigeleitet. Der maximale Öffnungswinkel darf 60° nicht überschreiten.
Die statische Belastung des Keiles ist in Gefährdungsbild 3 dargestellt. Der Keil muss ausreichend hoch ausgebildet sein, damit er nicht überflossen wird.
Dabei sind die natürliche Schneeablagerungshöhe und die Fliesshöhe der Lawine zu berücksichtigen.
Wird der Keil in Form von Flügelmauern seitlich des Objektes verlängert, so sind keine weiteren Objektschutzmassnahmen am Objekt vorzunehmen. Ansonsten sind die üblichen Einwirkungen aus Druck und Reibung für die Seitenwände zu berücksichtigen.

Gleitschneeschutzmassnahmen

Schneegleiten und -kriechen kann mittels einer Erhöhung der Bodenrauhigkeit verhindert oder zumindest vermindert werden. Dies erfolgt mittels Bermentritt, verankerten Schwellen, Pfählung oder Dreibeinbock. Diese Massnahmen verbessern die Verzahnung zwischen Schneedecke und Boden (vgl. Leuenberger 1989).



Massnahmen-kombinationen

Im folgenden werden für jedes Gefährdungsbild mögliche Massnahmenkombinationen für bestehende Bauten und für Neubauten vorgestellt.

Nur durch die Kombination der vorgestellten Massnahmen der Konzeption, Verstärkung und Abschirmung ergibt sich eine wirkungsvolle Risikoverminderung.

		Konzeption					Verstärkung Verschalung			Abschirmung Gleitschneeschutz			
Massnahmenkombination	**Gefährdungsbild**	Einpassung in das Terrain	Formgestalt der Baute	Nutzungskonzept Innenräume	Ort von Öffnungen	Nutzungskonzept Aussenraum	Aussenwände	Öffnungen	Dach	Damm	Spaltkeil	Ebenhöch	Gleitschneeschutz
		Bestehende Baute											
A	1/6					•	•	•					
B	1/6							•		•			
C	2					•	•	•	•				
D	3/6			(•)		•					•		
E	5							•	•				
F	6							•					•
		Neubaute											
G	1/6	•	•	•	•	•	•	•					
H	1/6				•	•				•			
I	2	•	•	•	•	•	•	•	•				
J	3/6	•	•	(•)		•					•		
K	4	•		•		•	•		•			•	
L	5				•			•	•				
M	6				•	•							•

1 **Massnahmenkombination A**

An bestehenden Bauten wird bei dieser Kombination eine Verstärkung der Gebäudehülle und der betroffenen Öffnungen vorgenommen.

Zu grosse Öffnungen, welche sich kaum ausreichend verstärken lassen, werden aufgehoben. Aussenraumnutzungen werden hinsichtlich ihres Ortes überprüft.

2 **Massnahmenkombination B**

Handelt es sich bei der Gefährdung lediglich um Schneerutsche oder kleine Lawinen, so kann ein Auffangdamm das bestehende Gebäude vor der direkten Einwirkung schützen.

Öffnungen sind zu verstärken, wenn sich die Wirksamkeit des Dammes nicht genug abschätzen lässt.

3 **Massnahmenkombination C**

Der Schutz eines bestehenden Gebäudes, welches nach Gefährdungsbild 2 betroffen ist, gestaltet sich mit reinen Verstärkungsmassnahmen schwierig.

Eine Verstärkung und konstruktive Anpassung von Gebäudehülle, Öffnungen und Dach ist im Zuge eines Totalumbaus am ehesten möglich.

4 **Massnahmenkombination D**

Der Spaltkeil stellt für bestehende Bauten eine sehr wirksame und kostengünstige Massnahme dar. An der Baute selbst sind keine Anpassungen notwendig, wenn zwischen Spaltkeil und Gebäude ein Abstand verbleibt (Lichteinfall).

Anpassungen an der Aussenraumnutzung sind je nach Gestalt der Flügelmauern notwendig.

5 **Massnahmenkombination E**

Bestehende Bauten, welche durch Staublawinen gefährdet sind, lassen sich mittels Massnahmen am Dach und an Öffnungen schützen. Bei Dächern werden im Zuge einer Dacherneuerung schwere Ziegel oder unempfindliche

Kontruktionsarten verwendet. Öffnungen werden durch entsprechend dimensionierte Fensterkonstruktionen geschützt (Verstärktes Glas, Verstärkter Verbund Glas-Rahmen-Mauerwerk).

6 **Massnahmenkombination F**

Ist das Gebäude ausschliesslich durch Schneegleiten und -kriechen gefährdet, so wird mittels einer Pfählung oder mittels Dreibeinböcken die Gefährdung lokal reduziert.

Hangseitige Fenster im Einflussbereich der natürlichen Schneedecke werden verstärkt oder temporär mittels Platten vor dem erhöhten Schneedruck geschützt.

7

Massnahmenkombination G

Bei Neubauten kann durch rein konzeptionelle Massnahmen das Personen- und Sachwertrisiko bereits erheblich gesenkt werden. Das Gebäude wird optimal geschützt in das Gelände eingepasst, Gebäudeform und -ausrichtung werden so gewählt, dass keine grossen Drücke auftreten.

Öffnungen werden in der lawinenseitigen Aussenwand vermieden oder zumindest klein gehalten. Im diesem Bereich werden zudem Räume mit geringer Nutzungsintensität angeordnet. Aussenwände und Öffnungen bedürfen in der Regel einer verstärkten Bauweise.

Massnahmenkombination H

Wird ausserhalb der Neubaute ein Auffang- oder Ablenkdamm angeordnet, so reduzieren sich die an der Baute vorzunehmenden Massnahmen erheblich.

Um das Restrisiko gering zu halten, sollen insbesondere Öffnungen in der lawinenseitigen Aussenwand vermieden oder zumindest gering gehalten werden.

Massnahmenkombination I

Kann die Neubaute nicht nur umflossen, sondern auch überflossen werden, so müssen die Massnahmen gemäss Kombination G durch eine verstärkte Dachkonstruktion ohne Vorsprünge ergänzt werden.

Dies stellt unter Umständen eine konstruktiv aufwendige Massnahme dar, so dass eher Kombination K (Ebenhöch) gewählt wird.

Massnahmenkombination J

Der Spaltkeil stellt eine sehr effiziente Schutzmassnahme bei Neubauten dar. Verbleibt eine räumliche Trennung zwischen Keil und Gebäude, so sind die Anpassungen an der Baute gering.

Von Bedeutung ist eine gute Einpassung des Gebäudes in das Terrain, so dass sich keine Aussenwandfläche über den Keil erhebt.

Massnahmenkombination K

Die Ausbildung eines Gebäudes als Ebenhöch stellt wie der Spaltkeil eine sehr effiziente Schutzmassnahme dar. Die Eingriffe an der Baute sind jedoch grösser. Der Lichteinfall ist zumindest an der lawinenseitigen Wand unterbunden oder zumindest nur mittels speziellen Lichtschächten (Beispiel Erdbauten) möglich.

Dies hat Auswirkungen auf die Nutzung der Innenräume. Das Dach ist zu verstärken, damit die dynamischen Kräfte des Überfliessens und die statischen Kräfte der Schneeablagerung aufgenommen werden. Die lawinenseitige Aussenwand ist gemäss dem wirkenden statischen Erd- und Schneedruck zu bemessen. Ungeschützte seitliche Aussenwände sind gemäss der dynamischen Wirkung der Lawine und der Reibung zu bemessen.

Massnahmen-kombination L

Neubauten können mittels geringen Anpassungen effizient gegen die Einwirkung von Staublawinen geschützt werden. Dies geschieht, indem übergrosse Fensterflächen vermieden werden.

Fenster- und Dachflächen werden verstärkt ausgeführt, damit sie dem wirkenden Luftdruck standhalten.

Massnahmen-kombination M

Gleitschneeschutzmassnahmen (Pfählung, Dreibeinbock) im Hang vor dem Gebäude vermindern die Gefährdung erheblich.

Als zusätzlicher Schutz ist bei Neubauten die Lage der bergseitigen Fenster ausreichend hoch zu wählen. Aussenraumnutzungen, wie zum Beispiel Sitzplätze oder Spielplätze, sind talseitig anzuordnen.

Personenschutz

Vor dem Ereignis:
· Aufsuchen von Unter- und Erdgeschossen
· Evakuation von behinderten Personen aus Obergeschossen
· Verlassen des Gebäudes bei Aufforderung durch lokale Sicherheitsbehörde
· Warnung von Personen im Freien
· Folgende wichtigen Hilfsmittel an einem sicheren Ort bereitstellen:
- Nahrungsmittel, Trinkwasser
- Erste-Hilfe-Material, Medikamente
- Schaufel, Pickel, Brecheisen, Werkzeug
- Notbeleuchtung
· Kein Aufenthalt in Autos oder Wohnmobilen

Nach dem Ereignis:
· Mitteilung über Ereignis an Polizei (Kant. Notrufzentrale)
· Rettung von Personen in Notsituationen oder Veranlassung der entsprechenden Fremdrettung (Kant. Notrufzentrale)
· Verbleiben in Untergeschossen
· Abhören von Mitteilungen des Lokalradios
· Befolgen der Anordnungen lokaler Sicherheitsbehörden

Sachgüterschutz

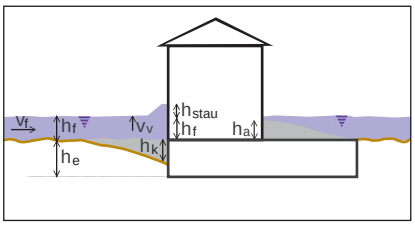
Vor dem Ereignis für Wohngebäude:
· Anbringen der vorgesehenen temporären Schutzvorkehrungen (Schutzschilde, Fenster, Türen und Tore schliessen)
· Gas bzw. Strom abstellen
· Gefährliche Stoffe an sichere Orte bringen (Brand-, Explosions-, Vergiftungsgefahr)
· Fahrzeuge in Garage abstellen
· Offene Feuer löschen

Vor dem Ereignis für Gewerbe- und Industriebetriebe:
· Laufende Prozesse abschalten, entflammbare oder brennbare Flüssigkeiten aus offenen Tanks entfernen
· Strom am Hauptschalter abstellen, wenn Kurzschlüsse möglich sind
· Alle Leitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase entleeren, um den Austritt grösserer Flüssigkeits- und Gasmengen aus beschädigten Leitungen zu verhindern.
· Bremsen an fahrbaren Kränen und Brücken überprüfen und gemäss Herstelleranweisung für Ruhezeiten arretieren
· Folgende Geräte und Materialien an einem zentralen, sicheren Ort bereitstellen:
- Notbeleuchtung
- elektrische und manuelle Werkzeuge
- Schaufeln, Äxte, Pickel, Brecheisen
· Für die auf dem Gelände bleibende Notmannschaft folgende Geräte und Materialien bereithalten:
- Funkgeräte
- Erste-Hilfe-Ausrüstung
- Beleuchtung, Batterien
- unverderbliche Nahrungsmittel
- Trinkwasser

Nach dem Ereignis:
· Überprüfung von Art und Grad der Schäden
· Unterbrochene Ver- oder Entsorgungsleitungen der zuständigen Institution melden
· Schadenmeldung an die zuständige Versicherungsinstitution
· Veranlassung der notwendigen Fremdleistungen hinsichtlich Reparatur
· Durchführung der möglichen Eigenleistungen hinsichtlich Reparatur



Bezeichnungen



h_f [m] Überschwemmungshöhe
h_{stau} [m] Stauhöhe bei Hindernissen
h_a [m] Ablagerungshöhe von Feststoffen
h_e [m] Einbindetiefe der Baute in den Untergrund
h_k [m] Kolktiefe bei Gebäuden
h_u [m] Tiefe von Ufererosionen
h_r [m] Gleitflächentiefe von Uferrutschungen
v_f [m/s] Fliessgeschwindigkeit
v_v [m/h] Anstiegsgeschwindigkeit
ρ_{hw} [t/m³] Dichte von Hochwasser
ρ_a [t/m³] Dichte von Feststoffablagerungen

m [t] Masse einer Einzellast
g [m/s²] Erdbeschleunigung (10 m/s²)
l_h [m] Dicke der Stahlbetonwand
l_s [m] Spannweite der Stahlbetonwand
q_h [kN/m²] Druck aus hydrostatischer Beanspruchung
q_f [kN/m²] Druck aus hydrodynamischer Beanspruchung
q_a [kN/m²] Druck infolge Feststoffablagerungen
q_e [kN/m²] statischer Ersatzdruck einer Einzellast (Anprall)
c_d [-] Formwiderstandsbeiwert
A [m²] Anprallfläche einer Einzellast
Q_e [kN] Statische Ersatzkraft einer Einzellast (Anprall)
Weitere bedeutende Parameter:
V [h] Vorwarnzeit (Dauer von Gefahrenerkennung bis Überschwemmungsbeginn)
T [h] Überschwemmungsdauer

Charakterisierung

Vorwarnzeit:
Die Vorwarnzeit, d.h. die Dauer von der Gefahrenerkennung bis zum Überschwemmungsbeginn, fällt in der Schweiz allgemein sehr kurz aus. Bei Wildbächen handelt es sich in der Regel nur um wenige Minuten. Bei grösseren Talflüssen kann es Stunden dauern. Nur bei wenigen Flüssen ist eine technisch-organisatorische Vorwarnung der Betroffenen eingerichtet. Dies bedeutet, dass temporär zu ergreifende Objektschutzmassnahmen weitgehend von der Gefahrenerkennung der Betroffenen selbst abhängig sind.

Fliessgeschwindigkeit:
Die Fliessgeschwindigkeit erreicht bei Überschwemmungen in steilerem Gelände (5 - 10%) einen Bereich von 3 bis 5 m/s, wenn die Überschwemmungshöhe 0.5 m übersteigt. Solch hohe Geschwindigkeiten treten zudem entlang kanalisierter Bereiche auf (Strassenzüge). In flacherem Gelände (< 2%) reduziert sich die Geschwindigkeit allgemein unter 2 m/s.

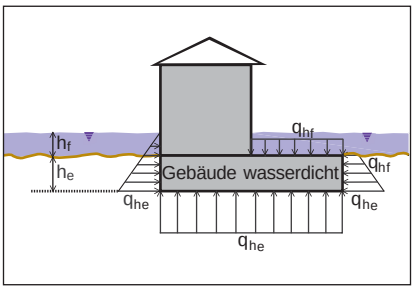
Anstiegsgeschwindigkeit:
Die Anstiegsgeschwindigkeit beschreibt die Schnelligkeit des Wasseranstieges bei der Überschwemmung. Dieser Parameter bestimmt die Bedrohung von Personen in und ausserhalb von Gebäuden. Eine hohe Anstiegsgeschwindigkeit ist insbesondere bei Überschwemmungen infolge Verklausung (Gerinneverstopfung) oder Dammbruch zu erwarten.

Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung von Objektschutzmassnahmen bedarf es Angaben zur *Überschwemmungshöhe, Fliessgeschwindigkeit* und *Mächtigkeit von Feststofferosionen* und -ablagerungen.

Diese Angaben können den Intensitätskarten entnommen werden. Existieren keine Intensitätsangaben, so sind diese durch einen Gefahrenfachmann zu bestimmen.

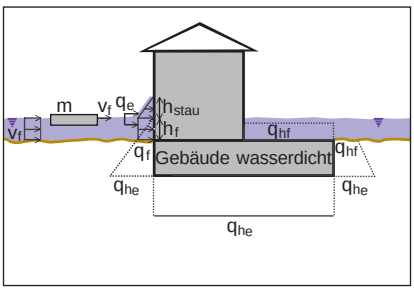
Gefährdungsbild 1



Statische Überschwemmung
Die Überschwemmung ist durch eine geringe Fliessgeschwindigkeit gekennzeichnet (v< 1 m/s).

Dadurch entstehen keine zu berücksichtigenden dynamischen Beanspruchungen. Die Einwirkung ergibt sich durch den hydrostatischen Druck q_h auf die wasserdichte Gebäudehülle. Dieser wächst mit zunehmender Tiefe an. Es wird angenommen, dass sich der Bodenkörper während der Überschwemmung vollständig sättigt. Beim hydrostatischen Druck auf die Bodenplatte der Baute handelt es sich um den Auftrieb.

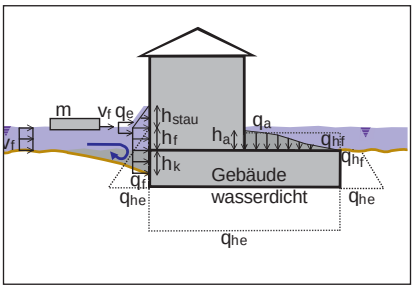
Gefährdungsbild 2



Dynamische Überschwemmung
Die Überschwemmung ist gekennzeichnet durch mittlere bis hohe Fliessgeschwindigkeiten (v > 1 m/s). Als Einwirkung wird neben der hydrostatischen auch die hydrodynamische Kraft des fliessenden Wassers berücksichtigt. Die Geschwindigkeitsverteilung wird über die gesamte Überschwemmungstiefe h_f als konstant angenommen.

Dadurch ergibt sich ein gleichmässig verteilter, konstanter Druck q_f infolge hydrodynamischer Beanspruchung an der angeströmten Wand der Baute. Diese Wand ist auch durch den Anprall mitgeführter Feststoffe (Baumstämme, gröberes Geschiebe) bedroht. Der entsprechende statische Ersatzdruck q_e wird als Einwirkung berücksichtigt.Vernachlässigt werden die Einwirkungen durch lokale Überdrucke oder Unterdrucke (Sog) infolge spezieller Gebäudeformen. Ebenso vernachlässigt wird der hydrodynamische Auftrieb.

Gefährdungsbild 3



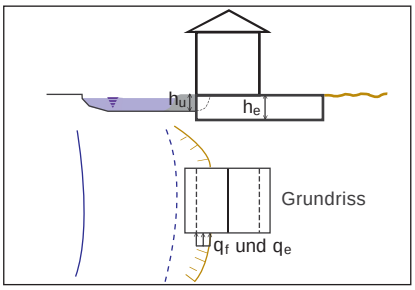
Dynamische Überschwemmung mit Feststofferosion (Kolk) und -ablagerung

Die Überschwemmung ist gekennzeichnet durch hohe Fliessgeschwindigkeiten (v > ca. 2 m/s). Die Dynamik des Abflusses führt zu Feststofferosionen h_k (Kolk) und Feststoffablagerungen h_a. Dies tritt v.a. bei Bauten entlang stark kanalisierter, geneigter Abflusswege auf (Strassenzüge in Siedlungen). Die hydrostatische und hydrodynamische Wirkung des fliessenden Wassers werden berücksichtigt (analog zu Gefährdungsbild 2). Ebenso die Stosskraft mitgeführter Feststoffe.

Es treten Kolkungen bis zur Tiefe h_k auf, welche die Fundation von Bauten freilegen oder sogar unterspülen können. Durch Feststoffablagerungen entstehen Auflasten q_a, welche für Tiefbauten massgebend werden (z.B. Tiefgaragen).

Diese Erosionen und Ablagerungen werden als Einwirkung berücksichtigt.

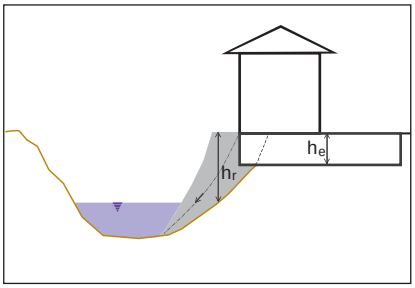
Gefährdungsbild 4



Gerinneverlagerung
Die Ufererosion ereignet sich in Form einer Gerinneverlagerung. Hierbei wird das Ufer bis auf eine Tiefe h_u erodiert.

Die Fundation der Baute ist nicht gefährdet, da die Einbindetiefe h_e grösser ist als h_u. Durch die Seitenerosion wird der äussere Hausteil vom direkten Strömungsangriff des Gerinnes erfasst. Die Einwirkungen sind daher der Druck des fliessenden Wassers q_f und der Stossdruck mitgeführter Feststoffe q_e auf die Frontseite der Baute.

Gefährdungsbild 5



Uferrutschung
Die Ufererosion ereignet sich in Form einer Rutschung. Diese häufig durch Tiefenerosion des Flussbettes ausgelösten Rutschungen können weit ausgreifen und sind je nach topographischen und geologischen Verhältnissen oberflächlich bis tiefgründig. Die Einwirkung auf die Baute entspricht jener bei Rutschungen mittlerer oder tiefer Gleitfläche h_r. Diese Beanspruchungen sowie mögliche Objektschutzmassnahmen werden im Kapitel Rutschungen behandelt. Erreicht das Hochwasser die Baute, so sind die Einwirkungen gemäss Gefährdungsbild 1 (Gerinneverlagerung) ebenfalls zu berücksichtigen.

Druck aus hydrostatischer Beanspruchung

Der hydrostatische Druck wird wie folgt ermittelt:

$q_{hf} = \rho_{hw} * g * h_f$ [kN/m²]

Druck an Terrainoberfläche bei Überschwemmungshöhe h_f

$q_{he} = \rho_{hw} * g * (h_f + h_e)$ [kN/m²]

Druck an Gebäudefundation bei Überschwemmungshöhe h_f

Es ist mit folgenden Richtwerten bzgl. der Dichte von Hochwasser zu rechnen:

$\rho_{hw} = 1.1$ t/m³

Dichte von Hochwasser mit wenig Feststoffanteilen

$\rho_{hw} = 1.4$ t/m³

Dichte von Hochwasser mit viel Feststoffanteilen

Druck aus hydrodynamischer Beanspruchung

Der Druck infolge hydrodynamischer Beanspruchung, welcher auf eine umflossene Baute wirkt, ist:

$q_f = 0.5 * c_d * \rho_{hw} * v_f^2$ [kN/m²]

Druck auf die angeströmte Wand

Typische Richtwerte für c_d sind:

$c_d = 1.25$ bis 1.50 wenn: umströmte Wandlänge / Überschwemmungshöhe < 40

$c_d = 1.50$ bis 2.00 wenn: umströmte Wandlänge / Überschwemmungshöhe > 40

Stauhöhe

Die Stauhöhe ergibt sich durch das Aufspritzen des fliessenden Wassers vor der umflossenen Baute. Diese Höhe beträgt maximal:

$h_{stau} = (v_f^2) / (2 * g)$

Stauhöhe bei Hindernissen

Kolktiefe



Die Kolktiefe an überschwemmungsgefährdeten Gebäuden kann nach Kohli (1998) detailliert bestimmt werden, wenn neben der Fliessgeschwindigkeit und der Überschwemmungshöhe auch die Überschwemmungsdauer und die Kornverteilung des gefährdeten Erdmateriales bekannt sind. Eine detaillierte Berechnung ist bei nicht unterkellerten Gebäuden notwendig. Im folgenden werden die Berechnungsresultate für 2 Standardfälle aufgelistet:

Bei unterkellerten Gebäuden ist die Gefährdung durch Unterkolkung v.a. für Gebäude entlang des Flussbettes von Bedeutung (Gefährdungsbild 4).

Parameter	Beispiel 1	Beispiel 2
Fliessgeschwindigkeit, v_f	2 m/s	0.90 m/s
Überschwemmungshöhe, h_f	0.5 m	1 m
Überschwemmungsdauer, T	9 h	24 h
Korndurchmesser 50%, d_{50}	0.02 m	0.008 m
Korndurchmesser 90%. d_{90}	0.08 m	0.03 m
Kolktiefe, h_k	*1.10 m*	*0.60 m*

Auflast durch Feststoffablagerungen

Durch die Ablagerung von Feststoffen entstehen vertikale und horizontale Erdkräfte. Diese müssen berücksichtigt werden, wenn dies nicht bereits bei den hydrostatischen Kräften durch ein erhöhtes Raumgewicht geschieht.

Der vertikale Erddruck (Auflast) beträgt:

$q_a = \rho_a * g * h_a$ [kN/m²]

Auflast infolge Feststoffablagerungen

Die Dichte dieser Feststoffe beträgt

$\rho_a = 2.0$ t/m³ *(Richtwert)*

Dichte der Feststoffablagerungen

Anprallkraft von Einzelkomponenten

Können Blöcke oder andere Feststoffe mitgerissen werden, so ist zusätzlich zum Druck aus hydrostatischer q_h und hydrodynamischer q_f Beanspruchung eine Anprallkraft solcher Einzelkomponenten zu berücksichtigen.
Anhand der Berechnungsannahmen unter Kapitel Steinschlag kann mit folgenden statischen Ersatzkräften Q_e gerechnet werden, welche auf eine Betonwand der Dicke $l_h = 0.3$ m und der Spannweite $l_s = 2.5$ m einwirken:
(Annahmen: duktiles Bruchverhalten, max. Durchbiegung 25 mm, keine Einspannung, Auftrieb der Blöcke berücksichtigt, $C_k = 0.4$, $\gamma_Q = 1.0$, $\gamma_R = 1.0$)

Die statische Ersatzkraft kann für andere Wanddicken l_h und Spannweiten l_s folgendermassen ermittelt werden:

$Q_e' = (Q_e * 2.5 * l_h) / (0.3 * l_s)$

Diese statische Ersatzkraft kann an beliebiger Stelle der Überschwemmungshöhe auftreten und verteilt sich gleichmässig über die Anprallfläche A:

$q_e = Q_e / A$ [kN/m²]

Masse des Blocks m	Fliessgeschwindigkeit v_f	Anprallfläche A	statische Ersatzkraft Q_e
0.1 t	2 m/s	0.30 m x 0.30 m	2 kN
0.5 t	2 m/s	0.50 m x 0.50 m	10 kN
0.1 t	4 m/s	0.30 m x 0.30 m	8 kN
0.5 t	4 m/s	0.50 m x 0.50 m	40 kN



Nässe und Schmutz



Vernässung und Schmutzeinlagerung führen zu teilweisem bis vollständigem Wertverlust an Gebäudeausbauten (Böden, Wände, Decke), Installationen und Gebäudeinhalten. In Einzelfällen kann auch das Tragwerk betroffen sein. Die Funktionstüchtigkeit und die äussere Gestalt werden so geschädigt, dass die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr gewährleistet ist. Der Einflussbereich der Vernässung ist in der Regel grösser als die maximale Überschwemmungstiefe. Bei Gebäuden können durch die Saugspannung in Wänden und durch das Verdunsten von Wasser auch Bereiche oberhalb der Überschwemmungskote betroffen sein. Als 'Schmutz' wirken alle mitgeführten löslichen und nicht löslichen Stoffe im Wasser.

Nässewirkungen:
· Wertverlust durch Absorption von Wasser:
Produkte aus Holz, Papier,Textilien, Gips usw. erleiden meistens einen Totalschaden. Das Aufsaugen von Wasser verändert die äussere Gestalt.

· Kurzschluss bei elektrischen Einrichtungen:
Die Anwesenheit von Wasser führt bei nicht isolierten Anschlüssen zu Kurzschluss. Als Folge des Lichtbogens kann ein Brand ausgelöst werden.

· Reaktion mit gelagerten Stoffen:
Stoffe können mit zutretendem Wasser eine chemische Reaktion (Brand, Explosion) auslösen.

Schmutzwirkungen:
· Wertverlust durch Absorption mitgeführter Geruchsstoffe:
Mit Fäkalien oder Öl kontaminiertes Wasser kann bei Objekten allein durch die eingelagerten Geruchsstoffe zu einem Totalschaden führen.

· Wertverlust durch Einlagerung von Feststoffen:
Feine Feststoffe können aus porösen Materialien oft nicht mehr entfernt werden.

· Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit bei elektrischen und mechanischen Einrichtungen:
Eingelagerte Feststoffe in elektrischen oder mechanischen Apparaten führen zu Betriebsstörungen und können oftmals nicht mit verhältnismässigem Aufwand entfernt werden.

Übersicht Massnahmen

Im folgenden wird eine Übersicht der möglichen Massnahmen gegeben.
Speziell bei Überschwemmungen ist zu unterscheiden zwischen permanent und temporär wirkenden Vorkehrungen.

Vorkehrung	Beschreibung
permanent	Die Massnahmen am Objekt wirken permanent. Es sind vom Menschen während des Ereignisses keine Eingriffe zur Gewährleistung des Schutzes notwendig.
temporär / geringer Aufwand	Es sind Massnahmen vorbereitet, welche zur Erreichung ihrer Funktionstüchtigkeit eines geringen zeitlichen Aufwandes bedürfen. Der Einsatz solcher Massnahmen bedarf einer Hochwasser-Vorwarnung.
temporär / hoher Aufwand	Es sind Massnahmen vorbereitet, welche zur Erreichung ihrer Funktionstüchtigkeit eines hohen zeitlichen Aufwandes bedürfen. Der Einsatz solcher Massnahmen bedarf einer Hochwasser-Vorwarnung mit entsprechend langer Vorwarnzeit.

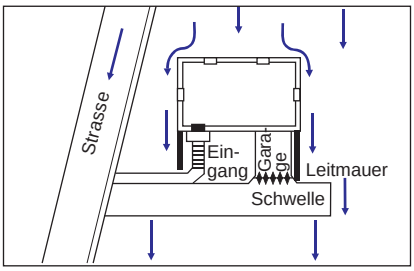
Nutzungskonzept der Innenräume

Durch eine angepasste Nutzung der Innenräume kann das Personen- und Sachrisiko von nicht hochwassersicheren Gebäuden erheblich reduziert werden. Das Augenmerk liegt insbesondere auf Untergeschossen. Das Personenrisiko ist dort zum Beispiel hoch, wenn Arbeitsplätze eingerichtet werden und der Fluchtweg zugleich der Haupteintrittsweg des Wassers darstellt. Das Sachrisiko kann minimal gehalten werden, wenn sich zur Hauptsache wasserunempfindliche Güter und Installationen in Untergeschossen befinden.

Lage des Erdgeschosses und von Öffnungen



· Höhenlage des Erdgeschosses
Die Höhenlage des Erdgeschosses gegenüber dem umliegenden Terrain bestimmt zu einem grossen Teil die Verletzlichkeit einer Baute gegenüber Überschwemmungen. Mit der Geschosslage wird die Höhe der Eingänge und damit der bedeutendsten Eintrittsöffnungen von Wasser festgelegt. Unerwünschte Treppen bei erhöhter Anordnung des Erdgeschosses können mittels Rampen vermieden werden. Diese Massnahme mündet schlussendlich in die Massnahme einer erhöhten Anordnung des Gebäudes (vgl. Abschirmungsmassnahmen weiter hinten).



· Lage von Eingängen
Ist ein Gebäude resp. ein Grundstück von einer hauptsächlichen Zuflussrichtung der Überschwemmung betroffen, so ist die Lage von Eingängen an strömungsabgewandten Seiten zu wählen.
Dies ist insbesondere bei Bauten auf Wildbachkegeln bedeutungsvoll. Die bergseitige Aussenwand sollte auf der Höhe des Erdgeschosses lediglich Fenster aufweisen und keine Eingänge oder Lichtschächte von Untergeschossen. Strömungsparallele und strömungsabgewandte Aussenwände sind vor der dynamischen Beanspruchung geschützt. Eingänge werden dadurch bedeutend geringer belastet.



· Höhenlage von Öffnungen
Die Höhenlage von Öffnungen wie Lichtschächte, Lüftungsschächte, Fenster, undichte Leitungsanschlüsse und Garageneinfahrten bestimmt ebenfalls massgeblich die Verletzlichkeit einer Baute gegenüber Überschwemmungen.
Zu wenig hoch reichende Licht- und Lüftungsschächte wirken als Hauptzuflüsse beim Einstau von Untergeschossen.

Materialwahl des Innenausbaus (Böden, Wände und Decken)

Schäden an Bodenbelägen treten auf, wenn das verwendete Material Wasser in grösseren Mengen absorbiert, nicht resistent ist bei leicht saurem oder basischem Milieu oder undurchlässig ist und dadurch keine Verdunstung von Wasser aus dem Rohboden erlaubt. Weitere Schäden sind zu erwarten, wenn das Kontaktmedium zwischen Rohboden und Bodenbelag wasserlöslich ist.

Nässeempfindlichkeit	Bodenbelagtyp
Gering	Naturstein, Cement, Ton, Epoxy[1], Mastixharz[1], Polyurethan[1], Silikon[1], Gummi
Mittel	Keramikplatten[2]
Hoch	Teppiche, Textil- und Kunststoffbeläge, Holz, Kork, Linoleum

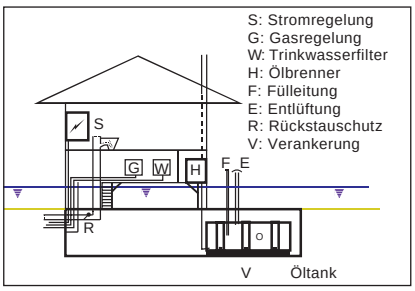
[1]: an Ort eingegossen
[2]: mit säure- und alkalibeständigem Mörtel

Bei Wänden und Decken führen dieselben Faktoren wie bei Fussböden zu einer Schädigung.

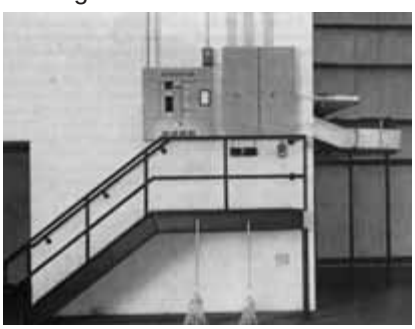
Nässeempfindlichkeit	Wand- und Deckentyp
Gering	Beton, Naturstein, Backstein, Metall, Ton, Gummi[1], Glas
Mittel	Kunststoffplatten[1]
Hoch	Gips, Holz, Kork, Farbanstrich[2], Tapeten, Isolierung[3]

[1]: mit wasserunempfindlichem Kontaktmedium
[2]: mit Ausnahme von Polyester-Epoxy Farben
[3]: mit Ausnahme von Produkten aus Schaum und geschlossenen Zellsystemen

3 Konzept der Versorgungseinrichtungen



Trinkwasserversorgung
Die Hauptleitung der Trinkwasserzufuhr zu Gebäuden ist in der Regel mit einem Filter versehen. Dieser kann während einer Überschwemmung beschädigt werden oder vollständig verstopfen, so dass die Trinkwasserzufuhr unterbunden wird. Eine Anordnung solcher Filter oberhalb der Überschwemmungskote gewährleistet einen dauernden Zugang zur Beseitigung allfälliger Funktionsstörungen.



Stromversorgung
Die Funktionstüchtigkeit der Elektrizitätsversorgung kann bei nicht wasserdichten Gebäuden durch folgende Massnahmen gewährleistet werden:

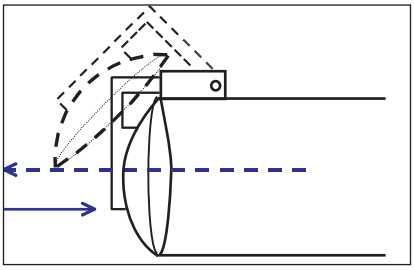
· Anordnung von Hauptschalter, Mess-, Verteil- und Regeleinrichtungen oberhalb der Überschwemmungskote des Gebäudes.
· Getrennte Leitungsführung zur Versorgung von Gebäudeteilen unterhalb bzw. oberhalb der Überschwemmungskote
· Automatische Netzabtrennung von Verteilleitungen unterhalb der Überschwemmungskote, wenn sich Wasser am Boden dieser Gebäudeteile ansammelt.
Ein Unterbruch der Stromversorgung verursacht unzählige Sekundärschäden (Beispielweise die Stillegung von Arbeitsplätzen bei Gewerbe- und Industriegebäuden). Eine möglichst schnelle Wiederinbetriebnahme innerhalb von Gebäuden ist daher von grosser Bedeutung und wird gefördert, wenn die aufgelisteten Massnahmen berücksichtigt werden. Die Einrichtung einer netzunabhängigen Notstrombeleuchtung ist besonders für grössere Gebäudekomplexe wichtig, aus welchen im Katastrophenfall Personen oder Sachgüter evakuiert werden müssen (z.B. Untergeschosse bei Spitälern, Gewerbe- und Industriebetrieben, Tiefgaragen u.a.). Die aufgelisteten Massnahmen gelten in ähnlicher Weise für Gasversorgungen in Gebäuden.

Verankerung von Öltanks

Werden Öltankanlagen oberhalb der Überschwemmungskote angeordnet, so ist ihr Betrieb (bei nicht unterbrochener Stromversorgung) während und nach einer Überschwemmung gewährleistet und Sekundärschäden durch freigesetztes Öl können vermieden werden.
Ist eine erhöhte Anordnung nicht möglich, so beschränken sich die Schutzmassnahmen auf eine wasserdichte Lagerung des Öls.

Der Tank muss gegen Aufschwimmen gesichert werden und dem äusseren Wasserdruck (Beulen) standhalten. Zu- und Abflussleitungen sind ebenfalls zu fixieren. Das Ende des Tankentlüftungsrohres muss über die Überschwemmungskote reichen. Die Zuflussleitung zum Ölbrenner ist mit einem Ventil zu versehen, welches bei Wasseransammlung auf dem Boden des Heizungsraumes automatisch schliesst.

Rückstauschutz der Kanalisation



Bei Kanalisationsleitungen ist der Schutz vor einem Rückstau resp. Rückfluss die wichtigste Massnahme. Mittels verschiedener Typen von Rückstauklappen und –schiebern kann eine Überschwemmung im Gebäudeinnern durch Rückströmungen im Kanalisationsnetz vermieden werden.
Es wird unterschieden zwischen:
· Automatischen Rückstauklappen
· Manuellen Rückstauschiebern
· Kombinationen davon
Der Vorteil der automatischen Rückstauklappe liegt in ihrer Unabhängigkeit bezüglich eines menschlichen Eingriffes. Dies ist wichtig, da der Eintritt eines Rückstaus nicht direkt wahrnehmbar ist. Die Anordnung solcher Rückflusssperren kann bei Gebäuden ausserhalb des potentiellen Überschwemmungsgebietes ebenfalls von Bedeutung sein. Insbesondere wenn die oberirdische Ausdehnung durch Hindernisse beschränkt wird, kann es zur (inneren) Überschwemmung von Gebäuden in an sich unbetroffenen Gebieten kommen. Soll während des Überschwemmungsereignisses eine ununterbrochene Schmutzwasserabfuhr möglich sein (z.B. bei Spitälern, Pflegeheimen etc.), so ist die Anordnung eines parallel geschalteten, isolierten Auffangbeckens vorzusehen.

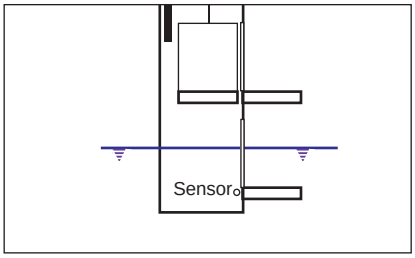
Fluchtwege

Gebäudeteile unterhalb der Überschwemmungskote müssen über Treppen oder Leitern verlassen werden können, um Gebäudeteile oberhalb der Überschwemmungskote zu erreichen.

Bei Gebäuden mit nur einem Stockwerk sollte der Aufstieg auf das Dach möglich sein.

Massnahmen an Aufzugsanlagen

Bei Personen- und Warenliften ist darauf zu achten, dass sich die Ruheposition dieser Anlagen oberhalb der Überschwemmungskote befindet und Wasseransammlungen im Liftschacht den Betrieb unterbrechen.



Schutz von Öffnungen

Permanente Vorkehrungen:
Als permanent wirkende Vorkehrung kann die Verwendung von wasserdichten, verstärkten Türen und Fenstern angeführt werden. Türen sind von aussen anzuschlagen. Bei Fenstern muss die auftretende Last über die Scheibe auf den Rahmen und von diesem auf die angrenzende Konstruktion abgetragen werden können.
Für Überschwemmungen geringer Fliessgeschwindigkeit (Gefährdungsbild 1) vermittelt die folgende Tabelle eine Übersicht bezüglich der entsprechenden Bemessung (Quelle: Schweiz. Institut für Glas am Bau, Zürich):



Einfachglas 4-seitig gelagert Abmessungen Höhe x Breite	**Wasserspiegel 1 m** ab UK Scheibe resp. Scheibe in ihrer Höhe voll eingestaut	**1.5 m** 0.5 m überstaut	**2.0 m** 1.0 m überstaut
100 x 100 cm	15 mm Float / VSG aus 2x8 mm Float	19 mm Float / VSG aus 2x12 mm Float	VSG aus 2x19 mm Float
100 x 200 cm	VSG aus 2x12 mm Float	--	--

Float: Spiegelglas nach EN 572-Teil 2
VSG: Verbundsicherheitsglas nach EN 12543 Teil 2
Bei der Verwendung von Isolierglas sollte die äussere Scheibe entsprechend dem Einfachglas nach obiger Tabelle gewählt werden mit einer Gegenscheibe von mindestens 8 mm Dicke.

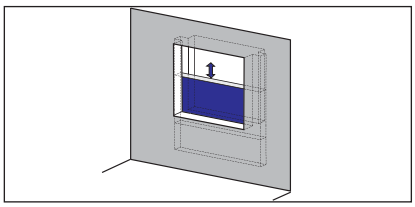
Bei Überschwemmungen mittlerer bis hoher Fliessgeschwindigkeit (Gefährdungsbilder 2 und 3) sind die Fenster einem erhöhten statischen Druck und dem Anprall von Einzellasten ausgesetzt (Treibgut). Mittels Sprossen, Prallplatten oder Dammbalken kann diese Einwirkung reduziert werden. Für diese Beanspruchung sollen die Empfehlungen unter Kapitel Murgang berücksichtigt werden.

Temporäre Vorkehrungen:
Öffnungen können temporär mittels Metall- oder Holzschutzschildern geschützt werden.
Zum Schutz von Öffnungen an bestehenden Bauten existieren hierzu Standardlösungen von einigen Herstellerfirmen.

Bei Neubauten kann eine architektonisch befriedigende Lösung gesucht werden, indem solche Schutzschilde direkt unter den Öffnungen in die Fassade integriert werden. Im Ereignisfall sind diese dann heraufzufahren.







Abdichtung der Gebäudehülle

Der Grad der Dichtigkeit der Gebäudehülle lässt sich aus der Sicht von Überschwemmungen in folgende 3 Stufen unterteilen:

Dichtigkeitsgrad	Beschreibung
Vollkommen dicht	Das Gebäude oder der bezeichnete Raum ist vollkommen undurchlässig gegenüber Wasser unter den Einwirkungen der Überschwemmung.
Massgeblich dicht	Das Gebäude oder der bezeichnete Raum ist massgeblich dicht gegenüber Wasser. Der Eintritt von Wasserdampf durch Wände oder von geringsten Sickermengen durch Ritzen ist möglich. Dies führt aber höchstens zu einer Wasserakkumulation von Zentimetern am Boden eines solchen Raumes während der Dauer der Überschwemmung.
Undicht	In das Gebäude oder den bezeichneten Raum tritt während der Überschwemmung so viel Wasser ein, dass der Wasserspiegel innerhalb des Gebäudes annähernd mit dem Wasserspiegel ausserhalb desselben korrespondiert.

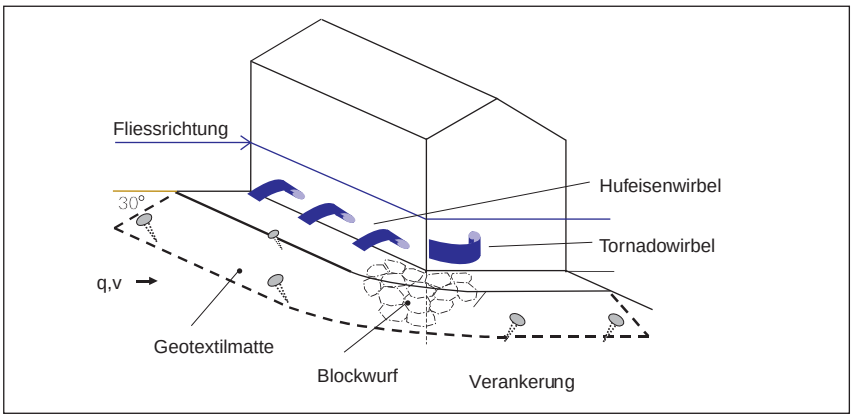
Zur Erreichung einer vollkommen dichten Gebäudehülle stehen folgende Verfahren zur Verfügung:
· Wasserdichte Betonkonstruktionen, Sperrbeton
· Konstruktionen mit Wassersperrschicht, Bitumenabdichtung
Diese zwei Verfahren weisen folgende Eigenschaften auf:

Kriterium	Bitumenbahn	Sperrbeton
Funktion	dichtend	dichtend und tragend
Elastisches Verhalten	gross, Rissüberbrückung	klein, Rissgefahr
Dampfdichtigkeit	vorhanden	nicht vorhanden

Im weiteren ist auf die Normen SIA 272 (Grundwasserabdichtungen) und SIA 274 (Fugenabdichtungen in Bauwerken) hinzuweisen.
Ein allfälliges Restrisiko hinsichtlich durchsickerndem Wasser kann effizient durch die Anordnung einer Tauchpumpe im Untergeschoss verringert werden.



Kolkschutz von Fundamenten

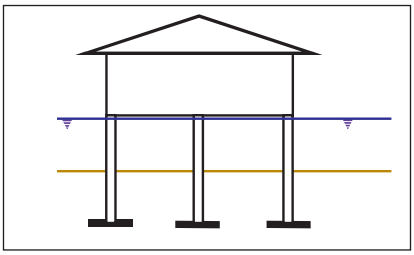


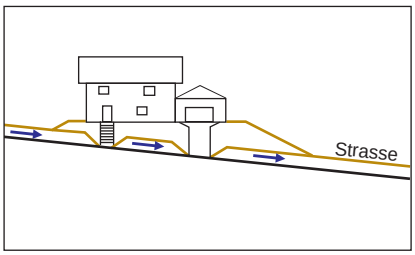
Die Reduktion des Kolks wird hauptsächlich durch die räumliche Einengung der am Gebäude entstehenden Wirbelsysteme erreicht. Es handelt sich hierbei einerseits um den Hufeisenwirbel.
Diesem wird mit einer horizontalen Verbauung entgegengewirkt. Als kostengünstige und flexible Lösung hat sich hier der Einbau von geotextilen Drainmatten bewährt.

Andererseits muss dem Tornadowirbel entgegengetreten werden. Dies erfolgt mittels vertikaler Verbauungen im Eckbereich des Gebäudes. Hier kann mittels eines Blockwurfes der notwendige Kolkschutz erreicht werden. Details zur Bemessung finden sich in Kohli 1998.

Einzelne Abschirmungsmassnahmen können einen massgebenden Einfluss auf die Ausbreitung der Gefährdung ausüben. Solche Massnahmen dürfen nur ergriffen werden, wenn sich durch deren Einsatz die Gefährdung von benachbarten Objekten nicht erhöht. Dieses Symbol soll auf diese Problematik hinweisen.

Erhöhte Anordnung



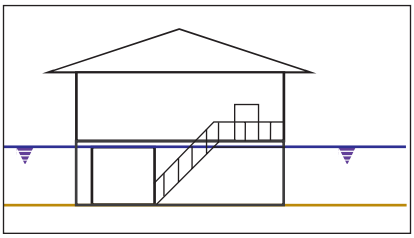




Anordnung auf Stützen



Anschüttung des Terrains





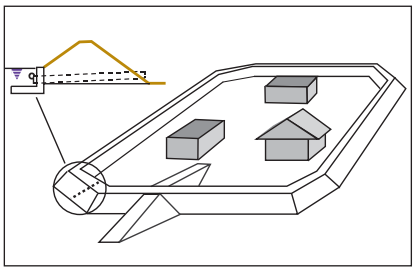
Anordnung auf Mauern

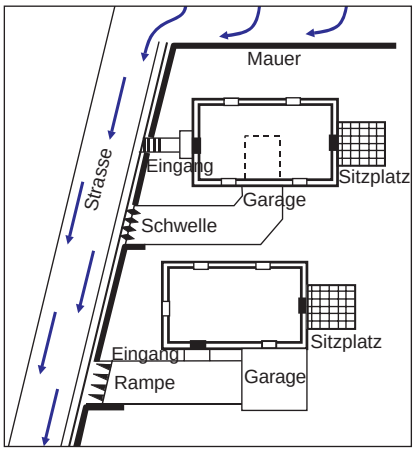
Die Anordnung auf Stützen stellt eine effiziente Schutzmassnahme dar, welche zudem viel gestalterischen Freiraum belässt.
Der gewonnene Raum unter dem Gebäude kann als Park- oder Freizeitfläche benutzt werden.
Werden Mauern anstelle von Stützen verwendet, so wird die Nutzungsmöglichkeit unter dem Gebäude nochmals erweitert.

Die Anschüttung des Terrains stellt in vielen Fällen bei Neubauten die kostengünstigste und wirksamste Massnahme dar. Das gefährdete Objekt kann so gänzlich vor der Überschwemmung geschützt werden (Ausnahme: vertieft angeordnete Gebäudezugänge). Bei Stellen mit hohen Fliessgeschwindigkeiten muss die Anschüttung gegen äussere Erosion geschützt werden. Bei diesen Massnahmen ist auf eine gute landschaftsplanerische Einfügung ins Terrain zu achten.

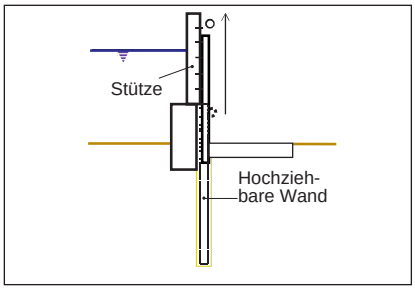
Schutzdamm oder Schutzmauer

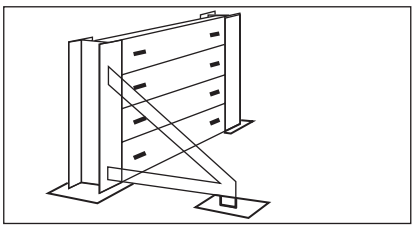
Permanente Vorkehrungen:
Die Erstellung eines Dammes oder einer Mauer mit Rampenzufahrt stellt eine permanente Vorkehrung dar. Weist die Zufahrt anstelle einer Rampe ein wasserdichtes Tor auf, so handelt es sich um eine temporäre Vorkehrung. Bei dieser Lösung ist nicht gewährleistet, dass sich das Tor im Ereignisfall in der geschlossenen Position befindet. Bei Dämmen und Mauern sind die üblichen Nachweise bezüglich Standfestigkeit, Kippen, Gleiten, Setzungen, äusserer und innerer Erosion, hydraulischem Grundbruch und Dichtigkeit zu erbringen. Leckwasser und unterströmtes Sickerwasser muss in Pumpensümpfen aufgefangen werden. Dies ist insbesondere in Gebieten mit langer Überschwemmungsdauer von Bedeutung.

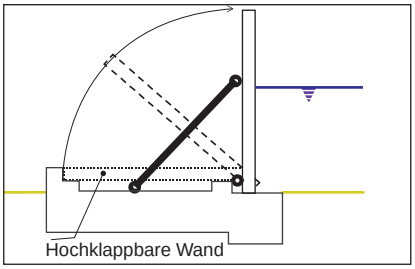




Temporäre Vorkehrungen:
Als temporäre Vorkehrung können hochziehbare oder hochklappbare Konstruktionen vorgesehen werden. Bei langer Vorwarnzeit sind zudem mobile Dammbalkensysteme, Sandsackdämme und Kombinationen davon als Notfallmassnahme einsetzbar.









Massnahmen-kombinationen

Im folgenden werden für jedes Gefährdungsbild mögliche Massnahmenkombinationen für bestehende Bauten und für Neubauten vorgestellt.

Nur durch die Kombination der vorgestellten Massnahmen der Konzeption, Abdichtung/Verstärkung und Abschirmung ergibt sich eine wirkungsvolle Risikoverminderung.

		Konzeption							Abdichtung Verstärkung			Abschirmung	
Massnahmenkombination	**Gefährdungsbild**	Lage Erdgeschoss/Öffnungen	Nutzungskonzept Innenräume	Materialwahl Innenausbau	Verteilsystem Energie/Wasser	Rückstauschutz Kanalisation	Verankerung Öltankanlagen	Fluchtwege	Öffnungen	Gebäudehülle	Kolkschutz Fundament	Erhöhte Anordnung	Schutzdamm/Schutzmauer
Bestehende Baute													
A	1/2		•			•	•	•					
B	1/2					•	•	•	•				
C	1/2					•		•	•	•			
D	3					•		•	•	•	•		
E	4							•	•	•	•		
F	1/2											•	
G	1/2					•							•
Neubaute													
H	1/2		•	•	•	•	•	•					
I	1/2	•	•			•		•	•	•			
J	1/2/3	•										•	
K	3		•			•		•	•	•	•		
L	1/2/3	•				•							•
M	4	•	•					•		•	•		

1	Massnahmen-kombination A	Diese Kombination enthält die minimalen Vorkehrungen bei bestehenden Bauten. Die Personensicherheit wird gewährleistet und Sekundärschäden, ausgehend von Öltankanlagen, werden vermieden.	Eine Überschwemmung des Gebäudeinnern kann nicht vermieden werden. Sachschäden werden dennoch minimal gehalten, indem in Untergeschossen auf eine angepasste Nutzung und Lagerhaltung geachtet wird.
2	Massnahmen-kombination B	Gegenüber Kombination A weist diese Variante zusätzlich eine Abdichtung / Verstärkung von Öffnungen auf. Der Eintritt von Wasser über Eingänge, Lichtschächte, Lüftungsschächte und Fenster wird unterbunden.	Lediglich durch undichte Teile der Gebäudehülle kann Wasser eintreten.
3	Massnahmen-kombination C	Die Gebäudehülle wird wo notwendig verstärkt und abgedichtet. Die bestehende Baute weist zusammen mit den übrigen Vorkehrungen (gemäss Kombination B) einen optimalen Schutz gegen Wassereindringen auf.	Die Sicherheit gegenüber Auftrieb muss geprüft werden. Massnahmen im Innern der Baute erübrigen sich.
4	Massnahmen-kombination D	Zusätzlich zu den Massnahmen gemäss Kombination C wird das Gebäude gegen Kolk geschützt, da aufgrund des Gefährdungsbildes Feststofferosionen und –ablagerungen anzunehmen sind.	
5	Massnahmen-kombination E	Dieses Massnahmenpaket ist speziell auf Gefährdungsbild 4 (Gerinneerosion) ausgerichtet. Mittels Kolkschutzmassnahmen, einer Verstärkung und Abdichtung der betroffenen Aussenwand und dem Schutz allfälliger Öffnungen kann	die bestehende Baute geschützt werden.
6	Massnahmen-kombination F	Unter der erhöhten Anordnung bestehender Bauten wird die Anhebung verstanden. Das Gebäude oder zumindest der Gebäudeteil über Terrain wird mittels hydraulischen Pressen angehoben. Das Erdgeschoss kommt so über die Überschwemmungskote zu	liegen. Die Abstützung des neu entstandenen Zwischengeschosses erfolgt über Stützen oder Aussenmauern. Dies stellt für leichte Holzkonstruktionen eine günstige und sehr effiziente Variante des Objektschutzes dar.
7	Massnahmen-kombination G	Um das betroffene Gebäude resp. Grundstück wird eine Schutzmauer oder ein Schutzdamm erstellt. Die Zufahrt wird als Rampe ausgebildet oder zumindest mit einem wasserdichten Tor versehen. An der tiefsten Stelle hinter dem Schutzbau-	werk wird ein Pumpensumpf mit Tauchpumpe installiert zur Förderung von Leckwasser. Innerhalb des Gebäudes bedarf es eines Rückstauschutzes der Kanalisation damit Rückströmungen ausgeschlossen sind.

Massnahmen-kombination H

Diese Kombination stellt eine Lösung bei Neubauten dar, wenn das Eindringen von Wasser über Öffnungen nicht ausgeschlossen werden kann.

Durch geeignete Materialwahl des Innenausbaus, ein angepasstes Energieverteilsystem und weiteren Massnahmen im Gebäudeinnern wird die Schadenempfindlichkeit gering gehalten.

Massnahmen-kombination I

Bei dieser Variante wird die Gebäudehülle wasserdicht ausgebildet. Öffnungen sind erhöht angeordnet oder ebenfalls abgedichtet und verstärkt. Massnahmen im Innern der Baute erübrigen sich hiermit weitgehend.

Massnahmen-kombination J

Die erhöhte Anordnung eignet sich insbesondere bei mittleren bis hohen Überschwemmungstiefen. Das Gebäude wird auf einer Anschüttung erstellt oder es wird eine entsprechende Konstruktion mit Stützen oder Stützwänden

gewählt. Das Gebäude ist dadurch dem direkten Wasserangriff nicht ausgesetzt und weitergehende Massnahmen erübrigen sich.

Massnahmen-kombination K

Zusätzlich zu den Massnahmen gemäss Kombination I wird das Gebäude gegen Kolk geschützt.

Massnahmen-kombination L

Mittels Mauern oder Dämmen wird ein Neubau oder eine Neuüberbauung vor der Überschwemmung geschützt. Bei jeder Baute wird der Rückstauschutz der Kanalisation sichergestellt. Das Erdgeschoss und terrainnahe Öffnungen werden

leicht erhöht angeordnet, wenn mit Grundwasseraufstoss oder Sickerwasser zu rechnen ist.

Massnahmen-kombination M

Bei einem Neubau nahe eines Gerinnes wird die erosionsgefährdete Aussenwand vor Kolk geschützt, verstärkt und abgedichtet. Die Höhenlage von Öffnungen entlang dieser Aussenwand wird erhöht gewählt.

Personenschutz

Vor dem Ereignis:
· Verlassen von Unter- und Erdgeschossen
· Evakuation von behinderten Personen aus Erdgeschossen
· Warnung von Personen im Freien (Schaulustige auf Brücken, Campierer entlang von Bächen u.a.)
· Folgende wichtigen Hilfsmittel an einem sicheren Ort bereitstellen:
- Nahrungsmittel, Trinkwasser
- Erste-Hilfe-Material, Medikamente
- Schaufel, Pickel, Brecheisen, Werkzeug, Reinigungsmaterial
- Notbeleuchtung
- Sandsäcke
- Bretter, Nägel

Während dem Ereignis:
· Mitteilung über Ereignis an Polizei (Kant. Notrufzentrale)
· Rettung von Personen in Notsituationen oder Veranlassung der entsprechenden Fremdrettung (Kant. Notrufzentrale)
· Verbleiben in Obergeschossen
· Abhören von Mitteilungen des Lokalradios
· Kein Aufenthalt in Autos oder Wohnmobilen

Nach dem Ereignis:
· Kein Betreten von überschwemmten Gebäudeteilen, bevor nicht die Gefahr von elektrischen Kurzschlüssen behoben ist.
· Kein offenes Feuer und Licht, sondern Taschenlampen zur Untersuchung von Gebäudeteilen mit Gas- und Brennstoffleitungen.
· Keine Nahrungsmittel verwenden, welche in Kontakt mit Überschwemmungswasser gekommen sind.
· Trinkwasser abkochen, Brunnen auspumpen und das Wasser auf Reinheit prüfen lassen.

Sachgüterschutz

Vor dem Ereignis für Wohngebäude:
· Anbringen der vorgesehenen temporären Schutzvorkehrungen (Schutzschilde, Fenster, Türen und Tore schliessen, Installation von Notpumpen)
· Evakuation von wasserempfindlichen Gütern und Dokumenten aus Unter- und Erdgeschossen
· Gas bzw. Strom abstellen
· Elektrische Geräte ausstecken
· Gefährliche Stoffe an sichere Orte bringen (Brand-, Explosions-, Vergiftungsgefahr)
· Fahrzeuge auf überschwemmungsfreies Gelände fahren

Vor dem Ereignis für Gewerbe- und Industriebetriebe:
· Laufende Prozesse abschalten, entflammbare oder brennbare Flüssigkeiten aus offenen Tanks entfernen.
· Strom am Hauptschalter abstellen, wenn Kurzschlüsse möglich sind.
· Alle Leitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase entleeren, um den Austritt grösserer Flüssigkeits- und Gasmengen aus beschädigten Leitungen zu verhindern.
· Ober- und unterirdische Tanks gegen Auf- und Wegschwimmen sichern, leere Tanks mit Wasser füllen, Lüftungsleitungen über Überschwemmungskote verlängern.
· Wichtige Maschinen, Vorräte und Dokumente an höher gelegene Orte bringen.
· Bremsen an fahrbaren Kränen und Brücken überprüfen und gemäss Herstelleranweisung für Ruhezeiten arretieren.
· Sandsäcke an gefährdeten Gebäudeöffnungen plazieren.
· Folgende Geräte und Materialien an einem zentralen, sicheren Ort bereitstellen:
- tragbare Pumpen und Schläuche
- Notbeleuchtung
- elektrische und manuelle Werkzeuge
- Schaufeln, Pickel, Brecheisen und Äxte
- Reinigungsgeräte
- Sandsäcke
- Abdeckungen, Bretter und Nägel

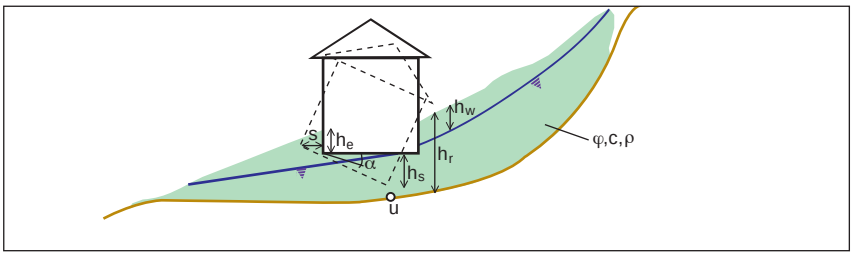
· Für die auf dem Gelände bleibende Notmannschaft folgende Geräte und Materialien bereithalten:
- Funkgeräte
- Erste-Hilfe-Ausrüstung
- Beleuchtung, Batterien
- unverderbliche Nahrungsmittel
- Trinkwasser

Während dem Ereignis:
(nur wenn keine Personengefährdung besteht!)
· Abdichten von undichten Öffnungen
· Überprüfen der Funktionstüchtigkeit vorhandener Notpumpen

Nach dem Ereignis:
· Überprüfung von Art und Grad der Schäden
· Unterbrochene Ver- oder Entsorgungsleitungen der zuständigen Institution melden.
· Schadenmeldung an die zuständige Versicherungsinstitution
· Veranlassung der notwendigen Fremdleistungen hinsichtlich Reinigung und Reparatur
· Durchführung der möglichen Eigenleistungen hinsichtlich Reinigung und Reparatur

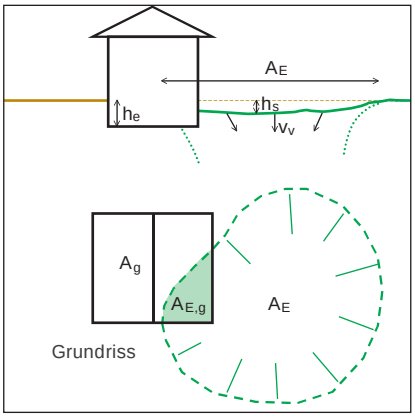


Bezeichnungen bei Rutschungen



h_r [m] Tiefe der Gleitfläche
h_e [m] Einbindetiefe der Baute
h_w [m] Tiefe des Hang- resp. Bodenwasserspiegels
h_s [mm] Setzung pro Ereignis bei Spontanrutschungen
s [mm] Horizontalverschiebung pro Ereignis bei Spontanrutschungen
v_f [mm/Jahr] Geschwindigkeit bei Permanentrutschungen
v_h [mm/Jahr] Horizontalgeschwindigkeit bei Permanentrutschungen
v_v [mm/Jahr] Vertikalgeschwindigkeit bei Permanentrutschungen
ρ [t/m³] Dichte des Bodenmaterials
α [°] Winkel der Gebäudeverkippung
φ [°] Winkel der Scherfestigkeit des Bodenmaterials (Reibungswinkel)
c [kN/m²] Kohäsion des Bodenmaterials
u [kN/m²] Porenwasserdruck
q_{ea} [kN/m²] aktiver Erddruck

Bezeichnungen bei Einstürzen



h_s [mm] Einsturz- resp. Absenktiefe der Terrainoberfläche
v_v [mm/Jahr] Absenkgeschwindigkeit bei permanenten Phänomenen
A_E [m²] Fläche des Einsturz-/Absenktrichters
$A_{E,g}$ [m²] eingestürzte Fläche innerhalb der Gebäudegrundfläche
A_g [m²] Gebäudegrundfläche

Charakterisierung

Rutschungen werden aufgrund der Tiefe ihrer Gleitfläche unterschieden. Wie im Kapitel Einführung dargestellt, unterscheidet man zwischen flachgründigen (h_r<2 m), mittelgründigen (2 m<h_r<10 m) und tiefgründigen (h_r>10 m) Rutschungen. Bei Spontanrutschungen beeinflusst die Grösse der Verschiebung und Setzung massgeblich den Schadengrad an der Baute und ihrer Umgebung. Bei permanenten Rutschungen ist es die Geschwindigkeit der Bewegung.

Hohe Schäden sind zu erwarten, wenn Betrag und Richtung der Geschwindigkeitsvektoren sich örtlich und zeitlich stark unterscheiden. Zur Charakterisierung der Wirkung der Geschwindigkeit werden in der Tabelle auf der folgenden Seite mögliche Schadenwirkungen in verallgemeinerter Form wiedergegeben.

Geschwindigkeit* v_f	Mögliche Schäden an Gebäuden und Aussenraum
1 – 5 mm/Jahr	Keine Schäden bis leichte Rissbildungen am Gebäude je nach Konstruktions- und Fundationsart, leichte Setzungs- und Hebungserscheinungen im Aussenraum.
10 – 50 mm/Jahr	Leichte bis grössere Rissbildungen und/oder Verkippungen am Gebäude, Setzungen und Stauchungen verursachen mittelfristig sichtbare Terrainveränderungen im Aussenraum, erdverlegte Leitungen erleiden Schäden.
200 – 1000 mm/Jahr	Grosse Rissbildungen und/oder Verkippungen am Gebäude, Setzungen und Stauchungen verändern den Aussenraum nachhaltig, erdverlegte Leitungen bedürfen eines jährlichen Unterhaltes damit ihre Funktionstüchtigkeit gewährleistet bleibt.

***** Die schadhafte Wirkung dieser Geschwindigkeiten ergibt sich durch Unterschiede in deren Betrag und Richtung innerhalb der Rutschung. Sind die Geschwindigkeiten in Betrag und Richtung innerhalb der Rutschung homogen, treten die Schäden am Rutschungsrand auf (Scherränder).
Als Mass für Setzungsdifferenzen gilt meistens die Winkelverdrehung $\tan\alpha$. Folgende typischen Grenzwerte sind zu beachten:

$\tan\alpha = 1/750$
Probleme mit empfindlichen maschinellen Einrichtungen
$\tan\alpha = 1/500$
Beginn von Rissbildungen am Bauwerk
$\tan\alpha = 1/250$
Verkippung von hohen Bauwerken wird sichtbar
$\tan\alpha = 1/150$
Schäden an der Bauwerksstruktur

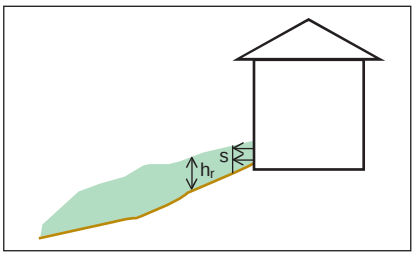
Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung von Objektschutzmassnahmen gegen Rutschungen bedarf es Angaben zur *Tiefe der Gleitfläche.* Bei Spontanrutschungen interessieren im weiteren der Verlauf des *Hangwasserspiegels,* die Grösse der *Bodenkennwerte* und allfällige *Porenwasserüberdrücke.*
Bei Permanentrutschungen interessiert zudem die durchschnittliche *Bewegungsrate.*
Bei Einstürzen bedarf es Angaben bezüglich der *Einsturztiefe* und der *Einsturzfläche.*

Einzelne dieser Intensitätsparameter können den Intensitätskarten entnommen werden. Die übrigen notwendigen Parameter sind durch einen Gefahrenfachmann zu bestimmen.

Bei Spontanrutschungen kann es zu einem schnellen Abgleiten der Erdmasse auf der Terrainoberfläche kommen. Dieses Gefährdungsbild entspricht den Ausführungen unter Kapitel Murgänge.

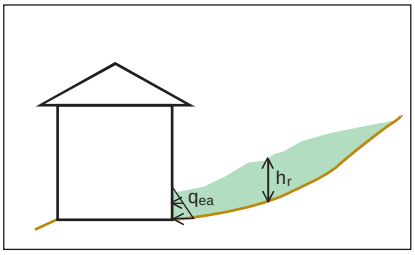
Gefährdungsbild 1



Flachgründige Rutschung bewegt sich von Baute weg
Die Rutschung bewegt sich um die Verschiebung s von der Baute weg. Es vermindert sich der bestehende Erddruck auf Aussenwände.

Da die Gleitfläche höher als das Fundament verläuft, ist die Gesamtstabilität der Baute in der Regel gegeben. Durch die Rutschbewegung entstehen Schäden in der Umgebung der Baute (Leitungen, Zufahrt, Stützkonstruktionen u.a.).

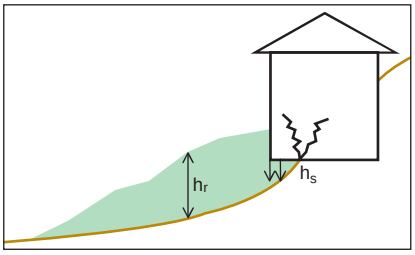
Gefährdungsbild 2



Flachgründige Rutschung bewegt sich auf Baute hinzu
Die Rutschung bewegt sich auf die Baute hinzu und es entstehen erhöhte Erddrücke q_{ea} an den Stirnwänden.

Grundsätzlich ist die Tragsicherheit von Aussenwänden gefährdet. Bei grossen bewegten Erdmassen und geringer Eigenlast der Baute kann jedoch auch die Kipp- oder Gleitsicherheit gefährdet sein.

Gefährdungsbild 3

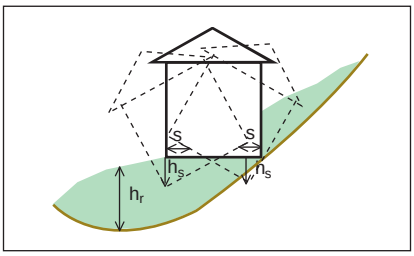


Mittelgründige Rutschung erfasst einen geringen Teil des Gebäudes
Die Rutschung verursacht Setzungen h_s und Verschiebungen s.
Je nach Art der Fundation und statischem Konzept ist die Tragsicherheit dieses Teils der Baute



gefährdet. Die Gesamtstabilität ist gewährleistet, sofern der betroffene Gebäudeteil gering bleibt.

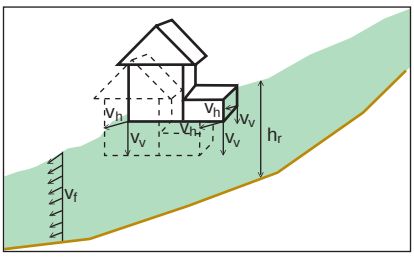
Gefährdungsbild 4



Mittelgründige Rutschung erfasst das ganze Gebäude
Die Tragsicherheit, die Gesamtstabilität und die Gebrauchstauglichkeit der Baute sind infolge differenzieller Setzungen h_s und Verschiebungen s bedroht.

Je nach Art der Fundation und Ausbildung des Tragwerkes wird sich das Mass und die Art der Verformungen (Setzungen / Hebungen, Verkippung, Rissbildung) an der Baute einstellen.

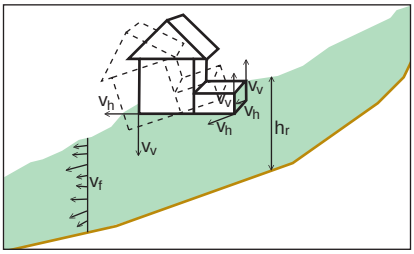
Gefährdungsbild 5



Tiefgründige Rutschung gleichförmiger geringer Geschwindigkeit
Die gesamte Baute ist von der Rutschbewegung erfasst.

Die Bewegungsrate ist jedoch gering und die Geschwindigkeitsvektoren (Horizontal- und Vertikalgeschwindigkeit) im Bereich der Einbindetiefe von gleichem Betrag und gleicher Richtung. Dadurch entstehen keine Differenzen in der Horizontal- und Vertikalbewegung. Schäden entstehen an Scherrändern der Rutschung oder im Bereich von Mulden und Kuppen.

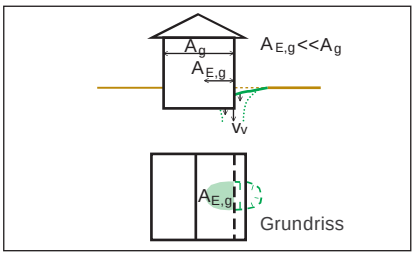
Gefährdungsbild 6



Tiefgründige Rutschung ungleichförmiger hoher Geschwindigkeit
Die gesamte Baute ist von der Rutschbewegung erfasst. Die Bewegungsrate ist hoch und die Geschwindigkeitsvektoren im Bereich der Einbindetiefe sind von unterschiedlichem Betrag und unterschiedlicher Richtung. Dadurch kommt es zu ausgeprägten Differenzen in der Horizontal- und Vertikalbewegung der Baute. Die Tragsicherheit, die Gesamtstabilität (Verkippen) und die Gebrauchstauglichkeit sind stark gefährdet.



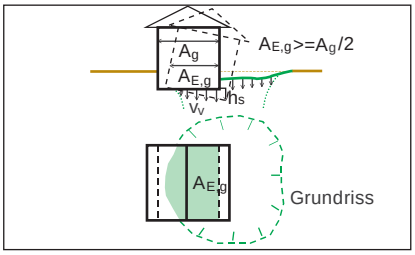
Gefährdungsbild 7



Kleinflächiger Einsturz
Vom Einsturz betroffen ist lediglich ein geringer Teil der Gebäudegrundfläche. Durch den Einsturz resp. die Absenkung kommt es zu einer kleinräumigen Setzungserscheinung unter dem Gebäude.

Je nach Art der Fundation und statischem Konzept ist die Tragsicherheit dieses Teils der Baute gefährdet. Die Gesamtstabilität ist in der Regel gewährleistet.

Gefährdungsbild 8



Grossflächiger Einsturz
Vom Einsturz betroffen ist ein wesentlicher Teil der Gebäudegrundfläche. Die Gesamtstabilität der Baute ist nicht mehr gewährleistet.

Je nach Fundationsart und statischem Konzept wird das Gebäude kippen oder zerreissen.

Ermittlung der Einwirkungen

Die Einwirkungen durch Rutschungen sind Erddrücke, Wasserdrücke und Verformungen. Die Erfassung solcher Einwirkungen hat sich auf eine fachkundige, dem Bauwerk angemessene Baugrunderkundung und geotechnische Beurteilung abzustützen. Der Informationsgehalt in Gefahren- und Intensitätskarten bezüglich Rutschungen reicht in der Regel nicht aus, um eine Bemessung bezüglich Objektschutzmassnahmen vorzunehmen. Lediglich bei flachgründigen Rutschungen kann oft auf eingehendere Felduntersuchungen verzichtet werden.
Einwirkungen infolge von Rutschungen und Einsturz können nicht direkt mit Normwerten angegeben werden, sondern sind in Anpassung an die jeweiligen Verhältnisse nach den Regeln des Grundbaus zu bestimmen.

Dem Geotechnikfachmann stehen drei wesentliche Ansätze zur Ermittlung der Einwirkungen zur Verfügung:
Mittels verschiedener *Feldanalysen* lassen sich die Tiefe einer bereits ausgebildeten Gleitfläche, die Geschwindigkeit, die Lagerungsdichte und die Bodenwasserverhältnisse bestimmen. Mit Hilfe von *Laboruntersuchungen* an entnommenem Erdmaterial kann die Dichte, der Winkel der Scherfestigkeit und die Kohäsion analysiert werden. Diese Grundlagen, sowie Angaben bezüglich der örtlichen Topographie erlauben es, mittels *Modellrechnungen* die Einwirkungen zu ermitteln. Anhand dieser Modelle kann zudem die Wirksamkeit der in Frage kommenden Objektschutzmassnahmen geprüft werden.

Standortwahl

Bei einem Neubau in rutschungs- oder einsturzgefährdetem Gebiet kann mittels einer vorsichtigen Standortwahl innerhalb der Bauparzelle bereits ein Teil des Risikos reduziert werden. Bei der Terraingestaltung ist darauf zu achten, dass Anschüttungen und Einschnitte so erfolgen, dass sie als bremsende Kraft auf den Rutschmechanismus einwirken.

Dies gilt sowohl für die permanenten, wie auch für die temporären Erdverschiebungen während des Baus. Aus diesem Grund sind insbesondere ungünstige Bauzustände (z.B. Baugrubenaushub) von Anfang an in die Abklärungen einzubeziehen. Risiken, die nicht durch Bemessung abgedeckt werden, sind durch angemessene Kontrollen zu begrenzen.

Statisches Konzept und Fundation

Das statische Konzept der Baute ist grundsätzlich dann vorteilhaft, wenn geringe Setzungen unter dem Gebäudekörper keine Schadenfolgen wie Risse nach sich ziehen. Aus diesem Grund ist eine monolithische Bauweise zu wählen. Anbauten sind immer statisch einwandfrei zu trennen. Die Fundationsart soll ebenfalls unempfindlich auf mögliche Setzungen oder Verschiebungen reagieren.

In der Regel bewährt sich eine Flachfundation mittels verstärkter Bodenplatte oder die Ausbildung des Untergeschosses als steifen Stahlbetonkasten.
Je nach Rutschungsart werden weitere Anforderungen an die Fundation gestellt. Auf Details wird weiter unten eingegangen (vgl. Lastabtragung, Ausrichtung und Verstärkungsmassnahmen).

Nutzungskonzept Innenräume

Das Nutzungskonzept der Innenräume muss bei tiefgründigen Rutschungen angepasst werden. Durch das Mitschwimmen der Baute auf dem Rutschkörper kann es zu einer Verkippung kommen. Je nach Art des statischen Konzeptes ist eine Neuausrichtung der Baute oder von Teilen davon möglich (vgl. weiter hinten).

Insbesondere bei Untergeschossen muss damit gerechnet werden, dass diese nicht neu ausgerichtet werden können und somit in einer Schieflage verbleiben. Dieser Umstand sollte von Beginn weg bezüglich der Innenraumnutzung berücksichtigt werden.

Aussenanschluss von Leitungen

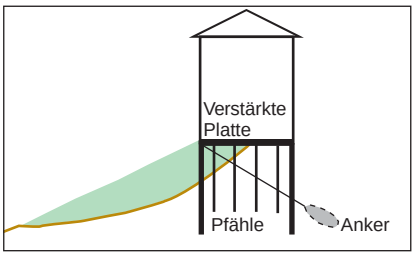
Erdverlegte Leitungen werden im Bereich von stark differentiellen Rutschgeschwindigkeiten beschädigt. Solche Bereiche sind allgemein die Scherränder der Rutschung, sowie der Bereich der Leitungsdurchführung vom Untergrund in die Baute. An diesen Stellen wird mit Vorteil ein Kontrollschacht erstellt. Dadurch können entstehende Zwängungen rechtzeitig erkannt und behoben werden.

Abführung von Meteorwasser

Jegliches Oberflächenwasser wird mit Vorteil abgeführt und nicht versickert. Wasser stellt bei Rutschungen oftmals den bedeutendsten treibenden Faktor dar. Daher wird versucht, den Hangwasserspiegel so tief wie möglich zu halten.

Dachwasser sollte daher nicht versickert werden und Quellen sind zu fassen.

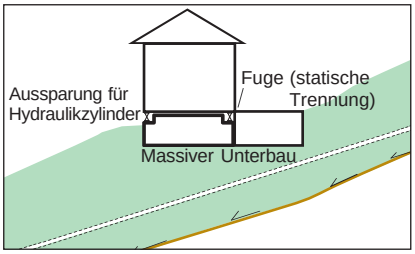
Lastabtragung unter die Gleitfläche



Mittels Scheiben oder Pfählen werden die Lasten des Gebäudes in das unbewegte Erdreich abgetragen. Diese Massnahme kann sowohl bei nicht sehr intensiver Rutsch- wie auch bei oberflächlicher Einsturzgefährdung ergriffen werden. Die Rutschmasse wird also an ihrer Bewegung nicht oder nicht stark gehindert. Die Baute steht ähnlich einer Brücke auf Pfeilern, welche sich im tragfähigen Untergrund abstützen. Bei der Wahl von Pfählen sind in der Regel umhüllende Schächte notwendig.

Ausrichtung des Gebäudes durch Anhebung

Die folgenden Massnahmen der Gebäudeanhebung werden bei mittel- bis tiefgründigen Rutschungen ergriffen, wenn sich der Rutschkörper aufgrund seiner Grösse nicht beeinflussen lässt.

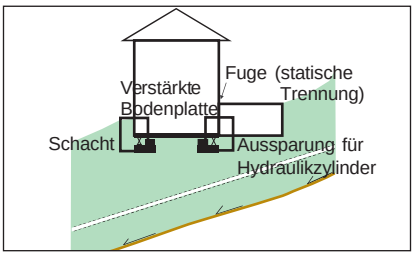


a) Statische Trennung des Untergeschosses von den Obergeschossen
Zwischen dem Untergeschoss und den Obergeschossen wird eine statische Trennung vorgenommen. Zudem werden Aussparungen für hydraulische Pressen angeordnet. Bei einer Verkippung der Baute kann der Obergeschossteil neu ausgerichtet werden. Das Untergeschoss verbleibt in seiner Schieflage. Dieser Vorgang wird bei weiteren Verkippungen wiederholt.





Verdeckte Aussparung für hydraulische Presse



b) Einzelfundamente als Auflager
Soll die gesamte Baute nach einer Verkippung neu ausgerichtet werden, so sind die entsprechenden Aussparungen für hydraulische Pressen im Fundamentbereich vorzusehen. Diese Variante beschränkt sich daher meistens auf Neubauten. Der Zugang zu diesen Auflager erfolgt über statisch getrennt angeordnete Schächte an den Gebäudeecken. Bei Bedarf sind zusätzliche Auflager im Bereich der Aussenwände und unter der Baute anzuordnen.



c) Anhebung mittels Kunstharzinjektion
Bei bestehenden Bauten kann mittels Kunstharzinjektionen unter dem Fundament eine Anhebung erreicht werden. Das Kunstharz wird mittels Spezialmaschinen über Bohrlöcher durch das Fundament in den Untergrund injiziert. Die Anhebung ergibt sich durch eine 15- bis 20-fache Volumenvergrösserung des Kunstharzes. Durch diese Expansion wird ein Druck von über 50 t/m^2 erreicht.





Verstärkung von Bodenplatte und Aussenwänden

Eine Verstärkung von Bodenplatte und Aussenwänden stellt bei vielen aufgeführten Massnahmen eine Mindestanforderung dar.
Eine Verstärkung in Neubauten kann mittels eines erhöhten Bewehrungsgehaltes bei Stahlbetontragwerken geschehen. Die Verstärkung in bestehenden Bauten erfolgt mittels Klebebewehrung oder zusätzlicher Bewehrung in Gunitschicht oder Vorsatzbeton.

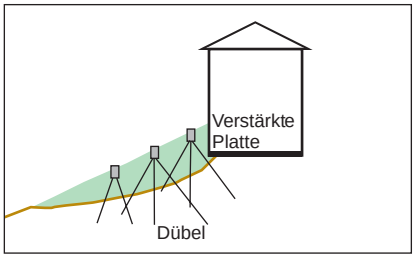
Stabilisierung mittels eingebrachten Stützelementen

a) Boden- und Felsanker
Mittels Anker wird eine instabile Boden- oder Felszone gegen eine stabile Boden- oder Felszone verankert. Bei Bodenankern liegt die Verankerungszone im Lockergestein; Kornaufbau und Lagerungsdichte bestimmen die äussere Tragkraft des Ankers aufgrund der mobilisierbaren Mantelreibung zwischen Ankerkörper und Untergrund. Bei Felsankern liegt die Verankerungszone im Felsgestein; die Felsart (Festigkeit, Härte, Rauhigkeit, Klüftung, Schichtung etc.) bestimmen die äussere Tragkraft.
Je nach Anwendung unterscheidet man:
- voll vorgespannte Anker, mit Anspannung auf die verlangte Gebrauchskraft
- teilweise vorgespannte Anker, mit Anspannung auf einen Teil der Gebrauchskraft
- ungespannte Anker; diese spannen sich erst über Deformationen des Ankerkopfes

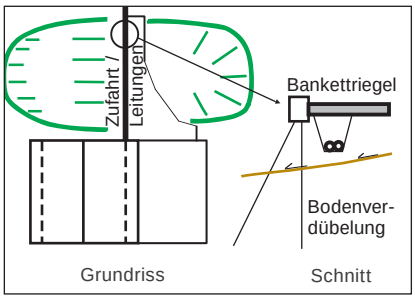
Weitere Details sind der SIA Norm V191 Vorgespannte Boden- und Felsanker und der SIA 191/1 Ungespannte Boden- und Felsanker (Nägel) mit Vollverbund zu entnehmen.

b) Dübel
Bei der Bodenverdübelung werden in der vorhandenen Gleitfläche durch die Dübel (Stahlrohre) Schubkräfte aktiviert, die ein Abgleiten des Erdkörpers verhindern. Die reine Schubbeanspruchung tritt auf, wenn die Gleitfläche zwischen zwei festen Schichten verläuft. In weichen Böden tritt eine Biegezugbeanspruchung auf. Bei Rutschungssanierungen werden die einzelnen Dübel durch Nachfolgebewegungen im Gleitflächenbereich verbogen und ihre Hauptwirkung beruht auf Zugkraftübertragung. Dübel werden über ihre ganze Länge vermörtelt. Sie können flächenhaft oder linienhaft über den Rutschkörper angeordnet werden. Zur Sicherung einzelner Objekte (Gebäude, Zufahrt etc.) ist die linienhafte Anordnung vorzuziehen.

2 oder 3 Dübel werden immer zu einem statischen Element zusammengefasst (Bock).



Der Vorteil einer Bodenverdübelung ist die einfache Ausführung ohne grosse Installationen. Die Verdübelung ist ferner ein biegeweiches System, das sich möglichen grossräumigen Kriechbewegungen anpassen kann, ohne dass gleich ein Systemversagen eintritt.
Die Grenze der Anwendung liegt vor allem in der Tiefe und Ausdehnung (Volumen) der Rutschung. Bei Tiefen der Gleitfläche über ca. 6 bis 8 m oder bei aufzunehmenden Schubkräften über cirka 300 kN/m' (Gesamtkraft) wird die Verdübelung gegenüber Lösungen mit vorgespannten Ankern und Pfählen im allgemeinen unwirtschaftlich.
Mittels Dübel und Bankettriegel lassen sich zudem erdverlegte Leitungen und Zufahrten effizient schützen.



c) Pfähle

Pfähle werden im allgemeinen nach den folgenden vier wesentlichen Unterscheidungsmerkmalen definiert:

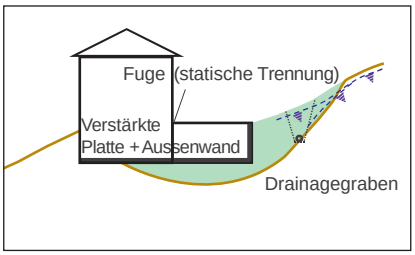
Unterscheidungsmerkmal	Name	Beschreibung
Art und Ort der Herstellung	Fertigpfahl	Vorfabrizierter Pfahl
	Ortspfahl	Der Pfahl wird im Boden mittels Ortsbeton oder Injektionsgut erstellt
Art und Weise des Einbringens in den Boden	Rammpfahl	Der Pfahl wird durch rammen, vibrieren oder durch statischen Druck (Presspfahl) in den Baugrund eingebracht (Verdrängung des Bodenmaterials).
	Bohrpfahl	Das Pfahlloch entsteht durch ein entfernen des Bodenmaterials.
Art des Lasttransportes	Spitzenpfahl	Die Lastabtragung in den Boden erfolgt vorwiegend über die Pfahlspitze (Spitzenwiderstand).
	Reibungspfahl	Die Lastabtragung in den Boden erfolgt vorwiegend über den Pfahlumfang (Mantelreibung).
Art der Beanspruchung	Druckpfahl	Vorwiegend auf Druck beanspruchter Pfahl, welcher z.B. für Tiefgründungen verwendet wird.
	Zugpfahl	Vorwiegend auf Zug beanspruchter Pfahl, welcher z.B. für Auftriebssicherungen verwendet wird (vgl. Kapitel «Massnahmen gegen Hochwasser»)
	Biegepfahl	Vorwiegend auf Biegung und Schub beanspruchter Pfahl, welcher z.B. für Rutschungssicherungen verwendet wird.

Ferner unterscheiden sich Pfähle aufgrund des Baustoffes in Holzpfähle, Stahlpfähle und Betonpfähle. Zur Stabilisierung von Rutschmassen werden Pfähle meist in Kombination mit Ankern eingesetzt. Das Haupteinsatzgebiet der Pfähle im Rahmen des Objektschutzes gegen Rutschungen liegt in der Fundation von Bauten im nichtbewegten Untergrund.

Detaillierte Angaben zur Bemessung von Pfählen finden sich in der SIA Norm V 192 .

Stabilisierung durch Verminderung des Porenwasserdruckes

Die folgenden Massnahmen kommen zur Anwendung, wenn eine Entwässerung des Bodenmateriales unter normalen hydrostatischen Verhältnissen möglich ist.



a) Drainagegräben
Eine Stabilisierung mittels Drainagegräben kommt zur Anwendung, wenn die zu entwässernden Schichten nahe der Oberfläche liegen (1 bis 3 m Tiefe). Der Vorteil dieser Entwässerungsmassnahme liegt darin, dass beim Aushub der Gräben die effektiven Verhältnisse beurteilt werden können und so das Entwässerungssystem während dem Bau optimal an die tatsächlichen Verhältnisse angepasst werden kann.

b) Horizontalbohrungen vom Gelände aus
Ist das Gelände geneigt und die zu entwässernden Schichten in einer Tiefe, welche mittels offenen Drainagegräben nicht erreicht werden, so bieten sich Horizontalbohrungen an. Mittels sternförmiger Anordnung, ausgehend von einem Sammelschacht, werden Horizontalbohrungen ausgeführt. Diese werden nach verschiedenen Techniken mit einem Drainrohr und äusserer Filterschicht versehen.

c) Brunnen (Vertikalschächte) mit Horizontaldrainagen
Befinden sich die zu entspannenden Bodenschichten in grösserer Tiefe, so ist die Anordnung von Brunnen mit Horizontaldrainagen vorzusehen.

Stabilisierung mittels einer Veränderung der Topographie

a) Gegengewichtsschüttung
Das Aufbringen einer Gegengewichtsschüttung wird sehr oft als Notfallmassnahme bei Rutschungen angewendet. Diese Massnahme kann auch als Vorbeugung zur Verhinderung einer Rutschung angewandt werden. Effektiv wirksam ist diese Massnahme nur, wenn die Schüttmasse direkt auf den Körper der potenziellen Rutschung einwirken kann. Es ist daher zu prüfen, ob Gleitflächen möglich sind, welche durch die Schüttung nicht beeinflusst werden.

b) Abflachung
Die Abflachung übersteiler Hangpartien stellt eine mögliche Massnahme zur Vermeidung von oberflächlichen Spontanrutschungen dar (insbesondere in der Folge von Starkniederschlägen). Diese Massnahme stellt einen wesentlichen Eingriff in die vorherrschende Topographie dar und sollte daher möglichst frühzeitig in den Planungsprozess einbezogen werden.

Massnahmen-kombinationen

		Konzeption					Lastabtragung Ausrichtung Verstärkung				Stabilisierung		
Massnahmenkombination	**Gefährdungsbild**	Standortwahl	Statikkonzept/Fundation	Nutzungskonzept Innenräume	Aussenanschluss Leitungen	Abführung Meteorwasser	Lastabtragung unter Gleitfläche	Ausrichtung durch Anhebung	Verstärkung Aussenwände	Verstärkung Bodenplatte	Stützelemente	Verminderung Porenwasserdruck	Veränderung Topographie
		Bestehende Baute											
A	1/2					•					•		
B	1/2					•						•	
C	1/2					•							•
D	2				•	•			•				
E	3				•	•	•			•			
F	4				•	•		•		•	•		
G	4				•	•		•		•		•	
H	5/6				•	•		•	•	•			
I	7					•				•			
J	8				•	•	(•)	•		•			
		Neubaute											
K	1	•			•	•							
L	2	•			•	•			•				
M	1/2	•				•					•		
N	1/2	•				•						•	
O	1/2	•				•							•
P	3	•	•		•	•	•			•			
Q	4	•	•			•		•		•	•		
R	4	•	•			•		•		•		•	
S	5		•	•	•	•		•		•			
T	6		•	•	•	•		•	•	•			
U	7	•	•			•				•			
V	8	•	•		•	•	(•)	•		•			

1	Massnahmen-kombinationen A, B, C	Es handelt sich um eine Gefährdung durch flachgründige Rutschungen. Die bestehende Baute wird geschützt, indem die Rutschmasse stabilisiert wird.	Dies erfolgt mittels Stützelementen, durch Drainagen oder durch ein Abflachen der Böschung.
2	Massnahmen-kombination D	Die flachgründige Rutschung bewegt sich auf die Baute hinzu. Mittels einer Verstärkung der gefährdeten Aussenwand wird dem erhöhten Erddruck begegnet. Befinden sich erdverlegte Leitungen im Einflussbereich der Rutschung,	wird zumindest im Bereich des Hausanschlusses und des Scherrandes ein Kontrollschacht eingebracht.
3	Massnahmen-kombination E	Die Rutschung reicht unter die Fundationstiefe des Gebäudes und bewegt sich von ihm fort. Mittels Scheiben oder Mikropfählen werden die Lasten in das unbewegte Erdreich abgetragen. Dies erfordert unter Umständen eine Verstärkung	der Bodenplatte des Gebäudes. Erdverlegte Leitungen ausserhalb der Baute bedürfen ebenfalls eines Schutzes oder zumindest einer Anordnung von Kontrollschächten.
4	Massnahmen-kombinationen F und G	Die Rutschung reicht unter die Fundationstiefe des Gebäudes. Mittels Stützelementen oder einer Tiefendrainage wird die Rutschmasse stabilisiert.	Bis zum Erreichen dieses Zustandes kann es zu Setzungen und Verschiebungen kommen, so dass eine Verstärkung der Bodenplatte und eine Ausrichtung durch Anhebung notwendig sein kann.
5	Massnahmen-kombination H	Es handelt sich um eine tiefgründige Rutschung, welche sich durch Stabilisierungsmassnahmen nicht beeinflussen lässt. Die bestehenden Bauten werden mittels hydraulischen Pressen neu ausgerichtet, wenn sie Verkippungen erleiden.	Bei stark differentiellen Bewegungsgeschwindigkeiten (Gefährdungsbild 6) sind zudem Verstärkungen an Bodenplatte und Aussenwänden notwendig, wenn diese von der Konstruktionsart des Gebäudes her ausführbar sind.
6	Massnahmen-kombination I	Ein kleinflächiger Einsturz gefährdet einen Teil der Baute. Mittels einer lokalen Verstärkung der Bodenplatte und eventuellen Fundamentvertiefungen z.B. mittels Pfählen kann die lokale Schwächezone gesichert werden.	
7	Massnahmen-kombination J	Der Untergrundeinsturz gefährdet die Gesamtstabilität der Baute. Falls es sich um einen langsam fortschreitenden Vorgang handelt, kann mit einer Neuausrichtung der Baute die Verkippung behoben werden.	Je nach Art des Einsturzes kann mittels Pfählen eine Lastabtragung in tragfähige Schichten vorgenommen werden.

Massnahmenkombinationen K und L

Eine Neubaute wird auf einer Parzelle erstellt, welche durch flachgründige Rutschungen gefährdet ist. Durch Standortwahl und Terraingestaltung wird versucht, die Gefährdung zu reduzieren.
In Bereichen, wo erhöhte Erddrücke befürchtet werden, sollen die Aussenwände entsprechend dimensioniert werden. Durch eine sorgfältige Abführung von Oberflächenwasser kann die Auslösewahrscheinlichkeit für Rutschungen reduziert werden.

Leitungen sind wenn möglich in nicht betroffenen Bereichen zu verlegen. Ansonsten sind von Beginn weg Kontrollschächte vorzusehen.

Massnahmenkombinationen M, N, O

Lässt sich die Rutschgefährdung nicht allein durch Standortwahl und Terraingestaltung genügend reduzieren, so sind stabilisierende Massnahmen am Rutschkörper notwendig.

Massnahmenkombination P

Im Unterschied zur Massnahmenkombination E (bestehende Baute) können bei einer Neubaute von Beginn weg die notwendigen Vorkehrungen an Fundation (Lastabtragung in unbewegtes Erdreich) und Bodenplatte vorgenommen werden.

Massnahmenkombinationen Q und R

Diese Kombination unterscheidet sich von der entsprechenden Variante bei bestehenden Bauten darin, dass Verstärkungen an der Bodenplatte von Beginn weg eingeplant werden.

Massnahmenkombinationen S und T

Neubauten auf tiefgründigen Rutschungen sollen von Beginn weg so konzipiert sein, dass ein allfälliges Neuausrichten möglich ist. Dies bedarf eines entsprechenden statischen Konzeptes mit Aussparungen für hydraulische Pressen.

Massnahmenkombinationen U und V

Der Einsturzgefahr kann bei einer Neubaute unter Umständen mittels einer sorgfältigen Standortwahl ausgewichen werden. Ansonsten ist insbesondere die verstärkte Bodenplatte von Bedeutung und die Möglichkeit einer Anhebung der Baute.

Personenschutz

In der Regel besteht bei permanenten Rutschungen keine Personengefährdung. Bezüglich Spontanrutschungen sind die entsprechenden Verhaltensanweisungen wie bei Hangmuren zu empfehlen (vgl. Kapitel Murgänge).

Sachgüterschutz

Vor dem Ereignis für Wohngebäude:
· Evakuation von schadenempfindlichen Gütern und Dokumenten
· Gefährliche Stoffe an sichere Orte bringen (Brand-, Explosions-, Vergiftungsgefahr)

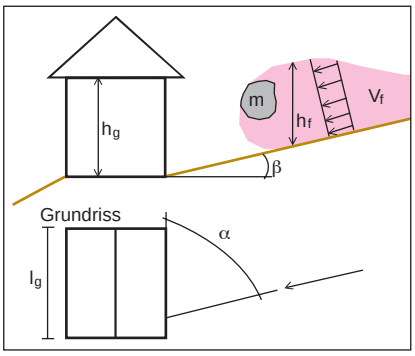
Vor dem Ereignis für Gewerbe- und Industriebetriebe:
· Laufende Prozesse abschalten, entflammbare oder brennbare Flüssigkeiten aus offenen Tanks entfernen
· Alle Leitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase entleeren, um den Austritt grösserer Flüssigkeits- und Gasmengen aus beschädigten Leitungen zu verhindern
· Wichtige Maschinen, Vorräte und Dokumente an sichere Orte bringen
· Bremsen an fahrbaren Kränen und Brücken überprüfen und gemäss Herstelleranweisung für Ruhezeiten arretieren
· Folgende Geräte und Materialien an einem zentralen, sicheren Ort bereitstellen:
- Notbeleuchtung
- elektrische und manuelle Werkzeuge
- Schaufeln, Pickel, Brecheisen und Äxte

Während dem Ereignis bei permanenten Rutschungen:
· Überwachung der Rutschaktivität mittels:
- Geodätischen Messungen an der Oberfläche
- Bewegungsmessungen im Untergrund und am Bauwerk
- Wasserspiegelmessungen
- Kraft- und Druckmessungen
- Protokollierung der Rissbildung am Gebäude

Nach dem Ereignis:
· Wasserdichtes Abdecken von Anbruchnischen
· Fassung von Quell- und Sickerwasseraustritten
· Weitere Überwachung von permanenten Rutschungen wegen Remobilisation
· Überprüfung von Art und Grad der Schäden
· Unterbrochene Ver- oder Entsorgungsleitungen der zuständigen Institution melden
· Schadenmeldung an die zuständige Versicherungsinstitution
· Veranlassung der notwendigen Fremdleistungen hinsichtlich Reinigung und Reparatur
· Durchführung der möglichen Eigenleistungen hinsichtlich Reinigung und Reparatur



Bezeichnungen



v_f [m/s] Fliessgeschwindigkeit des Murganges
h_f [m] Fliesshöhe des Murganges
h_a [m] Höhe des abgelagerten Murgangmateriales
m [t] Masse des grössten transportierten Blockes
l_g [m] Länge der betroffenen Gebäudewand
l_h [m] Dicke der Stahlbetonwand
l_s [m] Spannweite der Stahlbetonwand
ρ_f [t/m³] Dichte des Murganges
α [°] Ablenkwinkel
β [°] Hangneigung
γ [°] Öffnungswinkel des Spaltkeils
g [m/s²] Erdbeschleunigung (10 m/s²)
q_f [kN/m²] Druck des Murganges
$q_{f,r}$ [kN/m²] spezifische Reibung
q_e [kN/m²] statischer Ersatzdruck einer Einzellast (Anprall)
c_d [-] Widerstandskoeffizient
A [m²] Anprallfläche einer Einzellast
Q_e [kN] statische Ersatzkraft einer Einzellast (Anprall)

Charakterisierung

Volumen:
Bei den grösseren Murgängen in den Alpen werden Geschiebemengen von einigen 100'000 m³ talwärts transportiert. Kleine Murgänge weisen lediglich ein Geschiebevolumen von einigen hundert bis tausend Kubikmetern auf.

Fliesshöhe und -geschwindigkeit:
Es handelt sich um einen sehr gefährlichen Prozess, da die Fliessgeschwindigkeit von Murgängen in Gerinnen höher als bei Überschwemmungen ist und einen Bereich von 15 bis 20 m/s erreichen kann. Im Bereich flacherer Gefälle und seitlicher Ausbreitung verringert sich die Geschwindigkeit auf 2 bis 7 m/s. Die Fliesshöhe des Murganges liegt in einem Bereich von rund 0.5 bis 3 m. Bei einer Ausbreitung des Murganges reduziert sich diese Fliesshöhe entsprechend. Es ist zu beachten, dass sich während eines Niederschlagereignisses mehrere Murenschübe aus demselben Gerinne ereignen können. Dies wird bei Hangmuren weniger häufig beobachtet.

Vorwarnung:
Der Zeitpunkt des Auftretens eines Murganges oder einer Hangmure ist vorgängig nicht bestimmbar. Eine Vorwarnung ist nur in speziellen Fällen möglich.

Intensitätsparameter zur Bemessung

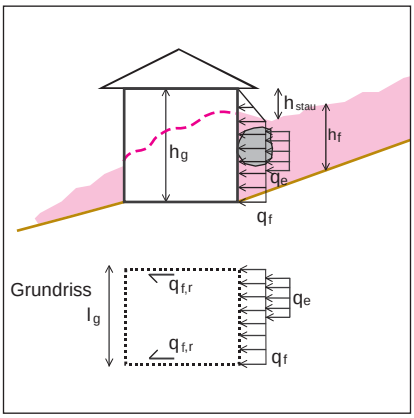
Zur Bemessung von Objektschutzmassnahmen bedarf es Angaben zu *Fliesshöhe* und *Fliessgeschwindigkeit* des Murganges / der Hangmure.

Diese Angaben können den Intensitätskarten sowie dem technischen Bericht entnommen werden. Existieren keine Intensitätsangaben, so sind diese durch einen Gefahrenfachmann zu bestimmen.

Die folgenden Gefährdungsbilder beschreiben den Anprall und das Umfliessen von Wasser-/Feststoffgemischen bezogen auf Gebäude.

Diese Einwirkung kann durch Murgänge, Hangmuren und durch oberflächlich abgleitende Spontanrutschungen entstehen.
Als Vereinfachung wird im Text ausschliesslich der Begriff Murgang verwendet

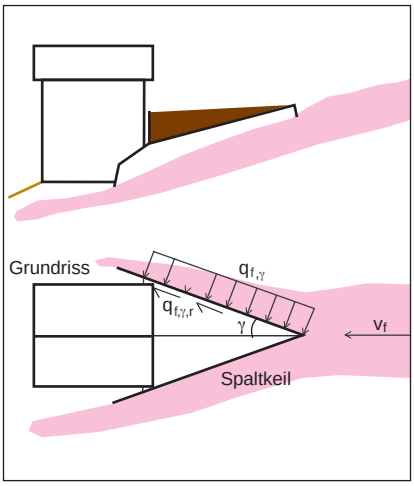
Gefährdungsbild 1



Murgang prallt auf Gebäude
Das Wasser- und Feststoffgemisch prallt auf die Stirnseite eines Gebäudes. Durch den Aufprall entsteht eine Stauhöhe h_{stau}, welche zusammen mit der Fliesshöhe h_f des Murganges die Gebäudehöhe h_g nicht überragt.

Auf die Dachkonstruktion wird daher keine direkte Beanspruchung ausgeübt. Der Druck q_f auf der Gebäudeaussenseite stellt die massgebende Einwirkung dar. Diese wird durch die Gebäudeform, die Dichte und die Geschwindigkeit des Murganges beeinflusst. Die Murganggeschwindigkeit v_f wird als konstant über die Fliesshöhe angenommen. Für die Seitenwände und alle schräg angeströmten Wände ist ein um den entsprechenden Ablenkwinkel α reduzierter Druck zu berücksichtigen. Im weiteren wirken auf diese Wände Kräfte infolge Reibung.
Mittels eines statischen Ersatzdruckes q_e wird der Anprall von grösseren Einzelkomponenten (Blöcke, Baumstämme) berücksichtigt.

Gefährdungsbild 2



Murgang umfliesst Gebäude mit Ablenkmassnahmen (Spaltkeil)

Auf den Spaltkeil wirken (als Einwirkung) Drücke infolge Umfliessung und Reibung. Auf den Keil wirkt der um den Ablenkwinkel γ reduzierte Druck $q_{f,\gamma}$. Der Ablenkwinkel γ darf höchstens 30° betragen, da sonst die Ablenkwirkung verloren geht und es sich um einen Anprall handelt (Gefährdungsbild 1). Der Spaltkeil muss überdies ausreichend in seiner Höhe bemessen sein.
(Dieses Gefährdungsbild entspricht der Einwirkungsart, wie sie bei Leitmauern und -dämmen auftritt.)

1 Stauhöhe des Murganges bei Anprall

Die Stauhöhe errechnet sich bei Murgängen, welche auf Objekte aufprallen, zu:

$h_{stau} = (v_f^2)/(2 * g)$ [m]

Stauhöhe von Murgängen

2 Druck aus dynamischer Beanspruchung

Der Druck q_f aus dynamischer Beanspruchung ist abhängig von der Murganggeschwindigkeit v_f, der Dichte ρ_f und der Form der umflossenen Baute, ausgedrückt durch den Widerstandskoeffizienten c_d.

$q_f = 0.5 * c_d * \rho_f * v_f^2$ [kN/m²]

Druck von Murgängen

Typische Richtwerte für c_d sind:

$c_d = 1.25$ bis 1.50

wenn: $l_g / h_f < 40$

$c_d = 1.50$ bis 2.00

wenn: $l_g / h_f > 40$

Die Dichte von Murgängen beträgt:

$\rho_f = 1.8$ [t/m³]

Dichte von feinkörnigen Murgängen

$\rho_f = 2.2$ [t/m³]

Dichte von grobblockigen Murgängen

Für Flächen, welche nicht senkrecht zur Fliessrichtung stehen, ist die Ablenkung um α zu berücksichtigen:

$q_{f,\alpha} = q_f * \sin^2\alpha$ [kN/m²]

Druck bei schräger Anströmung

Parallel zur Fliessrichtung stehende Seitenwände sind mit einem Druck zu bemessen, welcher sich bei einer Ablenkung des Feststoffmateriales um $\alpha = \pm 20°$ ergibt.

3

4 Druck aus hydrodynamischer und -statischer Beanspruchung

Im Falle von Murgängen aus Gerinnen ist nachfolgend zur dynamischen Beanspruchung durch den Murganganprall eine Beanspruchung durch das nachfliessende Wasser zu erwarten. Es ist zu prüfen, ob diese zeitlich nachfolgenden hydrodynamischen und hydrostatischen Beanspruchungen für einzelne Gebäudeteile massgebend werden. Bezüglich der Ermittlung dieser Drücke vergleiche man das Kapitel Hochwasser.

5 Vertikale Auflast

Die Auflast des Feststoffmaterials auf überdeckten Bauten ist:

$q_f = \rho_f * g * h_a$ [kN/m²]

Auflast von Murgängen

6 Druck durch Reibung

Reibungskräfte sind insbesondere bei Ablenkmassnahmen wie Spaltkeil und Leitmauern zu berücksichtigen.

Eine Abschätzung der dabei auftretenden Kräfte kann für Murgänge mit der Schleppspannungsformel für Flüssigkeiten erfolgen:

$q_{f,r} = \rho_f * g * h_f * \tan\beta$ [kN/m²]

Spezifische Reibung

7

Anprallkraft von Einzelkomponenten:

Die Stosskraft von Einzelkomponenten (Grossblöcke an der Murgangfront) stellt neben der Druckkraft q_f die wichtigste Einwirkung bei Übermurungen dar. Anhand der Berechnungsannahmen unter Kapitel Steinschlag kann mit folgenden statischen Ersatzkräften Q_e gerechnet werden, welche auf eine Betonwand mit Dicke $l_h = 0.3m$ und Spannweite $l_s = 2.5m$ einwirken: (Annahmen: duktiles Bruchverhalten, max. Durchbiegung 25mm, keine Einspannung, $C_k = 0.4$, $\gamma_Q = 1.0$, $\gamma_R = 1.0$)

Masse der Einzellast m	Murganggeschwindigkeit v_f	Anprallfläche A	statische Ersatzkraft Q_e
0.1 t	3 m/s	0.30 m x 0.30 m	7 kN
0.5 t	3 m/s	0.50 m x 0.50 m	36 kN
1.0 t	3 m/s	0.65 m x 0.65 m	72 kN
0.1 t	6 m/s	0.30 m x 0.30 m	29 kN
0.5 t	6 m/s	0.50 m x 0.50 m	144 kN
1.0 t	6 m/s	0.65 m x 0.65 m	288 kN

Die statische Ersatzkraft kann für andere Wanddicken l_h und Spannweiten l_s folgendermassen ermittelt werden:

$$Q_e' = (Q_e * 2.5 * l_h)/(0.3 * l_s)$$

Diese Einzellast ist gleichzeitig wirkend mit der Belastung q_f des Murganges anzunehmen. Sie kann an beliebiger Stelle der Fliesshöhe des Murganges auftreten und verteilt sich gleichmässig über die Anprallfläche A:

$$q_e = Q_e/A \qquad [kN/m^2]$$

statischer Ersatzdruck einer Einzellast (Anprall)

Verhält sich die betroffene Wand nicht duktil sondern spröd (Durchstanzen der Einzellast), so sind entsprechend höhere statische Ersatzkräfte für die Bemessung massgebend (vgl. Kapitel Steinschlag).

1

Einpassung in das Terrain

Eine gute Einpassung in das Terrain schützt die Baute vor dem direkten Murgangangriff. Dies geschieht durch eine erhöhte Anordnung des Gebäudekörpers bei kleinen Murgängen.

Bei grossvolumigen Murgangschüben ist eher eine vertiefte Anordnung mit Anschüttungen zu wählen. Die zu schützende Aussenwandfläche verringert sich mit dieser Massnahme.

2

Formgestalt der Baute

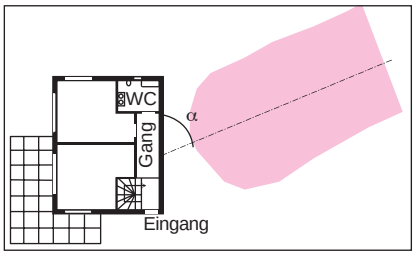
Die Formgestalt der Baute bestimmt die effektiv wirkenden Drücke der betroffenen Aussenwände. Keilförmige oder zumindest abgewinkelte Grundrissformen sind in Bezug auf die Hauptzuflussrichtung des Murganges günstig. Sehr ungünstig wirken sich einspringende Ecken und Auswölbungen wie zum Beispiel Erker oder Kamine aus.

Im weiteren ist zu beachten, dass sich an der direkt betroffenen Aussenfassade keine Leitungen befinden (Dachwasserleitung, Öltankentlüftung u.a.). Diese würden beim Murganganprall beschädigt oder abgerissen.

3

Nutzungskonzept der Innenräume

Das Personenrisiko in Gebäuden wird durch eine angepasste Raumnutzung reduziert. Im Bereich der direkt betroffenen Aussenwand werden Räume mit allgemein kurzer Aufenthaltsdauer von Personen angeordnet. So zum Beispiel Verbindungsgänge oder Nasszellen.



4

Ort und Höhenlage von Öffnungen



Gebäudeöffnungen wie Fenster und Türen stellen die markanteste Schwachstelle bei der Murgangeinwirkung dar.

Daher werden Fenster im Bereich der gefährdeten Aussenwand vermieden oder zumindest klein gehalten. Solche Öffnungen bedürfen immer einer Verstärkung (vgl. weiter hinten). Murgangseitige Eingänge sind zu vermeiden oder durch geeignete Massnahmen permanent zu schützen.

5

6

Nutzungskonzept des Aussenraumes

Intensive Nutzungsformen im Bereich des Aussenraumes werden mit Vorteil in den durch die Baute geschützten Partien angeordnet. Sitzplätze und Balkone sind daher im Bereich der seitlichen oder murgangabgewandten Aussenwänden anzuordnen.

7

Verstärkung von Aussenwänden



Die gefährdeten Aussenwände sind nach dem wirkenden Druck und der Reibung des Murganges zu bemessen. Dies erfordert in der Regel eine Verstärkung dieser Aussenwände (vgl. detaillierte Angaben im Kapitel Steinschlag). Die wirkende Reibung verhindert in der Regel die Verwendung von Fassadenverkleidungen (Schindeln aus Holz oder Kunststoff).
Durch eine Anschüttung kann die direkt betroffene Aussenwandfläche verringert werden. Im Bereich der Anschüttung wirkt lediglich ein reduzierter Druck, dagegen ist der zusätzliche Erddruck zu berücksichtigen.

Schutz von Öffnungen

Gefährdete Fenster und Türen sind gemäss dem wirkenden Druck zu bemessen. Türen sind von aussen anzuschlagen. Bei Fenstern muss die auftretende Last über die Scheibe auf den Rahmen und von diesem auf die angrenzende Konstruktion abgetragen werden. Bei seitlich angeordneten Fenstern und geringen Drücken ist mittels ausreichend bemessenen Verbundsicherheitsgläsern ein Schutz möglich. Fenster, welche frontal zur Murgangfliessrichtung angeordnet sind, müssen zusätzlich mittels Sprossen, Prallplatten oder Dammbalken vor Einzellasten (Blöcke) geschützt werden. Solche Schutzschilder können saisonal während der Murgangsaison (Frühjahr bis Herbst) eingesetzt werden. Während den Wintermonaten ist der Lichteinfall über die betreffenden Öffnungen somit nicht behindert. Die folgende Tabelle vermittelt eine Übersicht empfohlener Glasprodukte mit ihren Mindestdicken sowie der entsprechenden Bemessung (Quelle: Schweiz. Institut für Glas am Bau, Zürich):

Einfachglas	**Druck q_f des Murganges**		
4-seitig gelagert	5 kN/m²	10 kN/m²	30 kN/m²
Abmessungen			
60 x 60 cm	VSG aus 2 x 5 mm Float	2 x 8 mm	2 x 12 mm
100 x 100 cm	VSG aus 2 x 8 mm Float	2 x 12 mm	--
100 x 200 cm	VSG aus 2 x 12 mm Float	2 x 19 mm	--

VSG: Verbundsicherheitsglas nach EN 12543 Teil 2
Float: Spiegelglas nach EN 572-Teil 2

Bei der Verwendung von Isolierglas sollte die äussere Scheibe entsprechend dem Einfachglas nach obiger Tabelle gewählt werden mit einer Gegenscheibe von mindestens 8 mm Dicke.

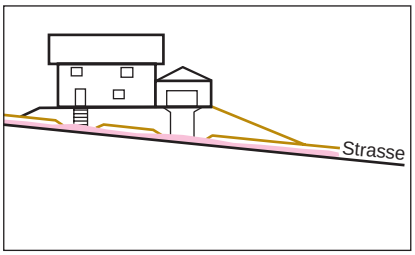
Einzelne Abschirmungsmassnahmen können einen massgebenden Einfluss auf die Ausbreitung der Gefährdung ausüben.
Solche Massnahmen dürfen nur ergriffen werden, wenn sich durch deren Einsatz die Gefährdung von benachbarten Objekten nicht erhöht. Dieses Symbol soll auf diese Problematik hinweisen.

Auffangdamm



Ein Auffangdamm kann im Objektschutz als Massnahme gegen kleine Murgänge eingesetzt werden. Die dazu erforderliche Dammhöhe muss grösser sein als die Summe aus Fliesshöhe h_f und Stauhöhe h_{stau} des Murganges. Der ausreichende Ablagerungsraum für das Volumen des Murganges resp. der möglichen Murenschübe während eines Ereignisses muss ebenfalls nachgewiesen werden. Die statische Bemessung richtet sich nach dem wirkenden Druck und dem Nachweis bezüglich Gleiten.

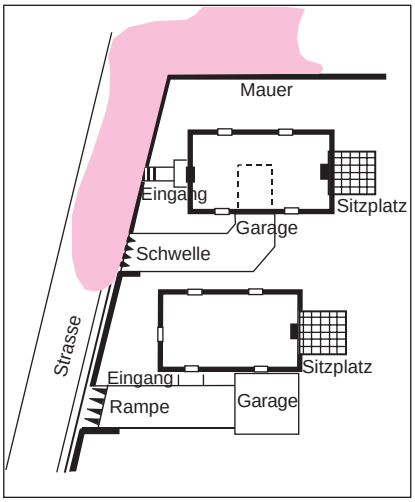
Erhöhte Anordnung



Die Anschüttung des Terrains stellt in vielen Fällen bei Neubauten die kostengünstigste und risikowirksamste Massnahme dar.

Das gefährdete Objekt kann so gänzlich von der Übermurung geschützt werden. Bei Stellen mit hohen Fliessgeschwindigkeiten muss die Anschüttung gegen äussere Erosion geschützt werden. Bei dieser Massnahme ist auf eine gute landschaftsplanerische Einfügung ins Terrain zu achten.

Ablenkmauer/-damm



Mit Hilfe einer Ablenkmauer oder eines Ablenkdammes kann der Murgang in eine gewünschte Richtung umgelenkt werden. Ablenkbauwerke mit Ablenkwinkeln von 20° bis 30° können noch mit einem vertretbaren Aufwand erstellt werden. Sind die Umlenkwinkel grösser, so werden die erforderlichen Bauwerkshöhen gross und zudem ist das Abfliessen des Murganges nicht mehr gewährleistet.

Als Objektschutzmassnahme kommen Ablenkmauern oder -dämme insbesondere am Rande von Siedlungen zum Einsatz oder im Bereich von Ausbruchstellen aus dem Gerinne.

Die Höhe des Ablenkdammes bemisst sich analog zum Auffangdamm, wobei die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Bauwerksachse massgebend ist.

Spaltkeil

Spaltkeile dienen als Objektschutz von Gebäuden und Masten. Der Keil wird direkt am Objekt oder in unmittelbarer Nähe davon angeordnet. Die Geschiebemassen werden geteilt und links und rechts am zu schützenden Objekt vorbeigeleitet. Der maximale Öffnungswinkel darf 60° nicht überschreiten.
Die statische Belastung des Keiles ist in Gefährdungsbild 2 dargestellt. Der Keil muss ausreichend hoch ausgebildet sein, damit er nicht überflossen wird.



Dabei sind die Fliesshöhe des Murganges zu berücksichtigen, sowie die Anzahl möglicher Murenschübe pro Ereignis. Wird der Keil in Form von Flügelmauern seitlich des Objektes verlängert, so sind keine weiteren Objektschutzmassnahmen am Objekt vorzunehmen. Ansonsten sind die üblichen Einwirkungen aus Druck und Reibung für die Seitenwände zu berücksichtigen.

Massnahmen-kombinationen

Im folgenden werden für jedes Gefährdungsbild mögliche Massnahmenkombinationen für bestehende Bauten und für Neubauten vorgestellt.

Nur durch die Kombination der vorgestellten Massnahmen der Konzeption, Verstärkung und Abschirmung ergibt sich eine wirkungsvolle Risikoverminderung.

			Konzeption					Verstärkung		Abschirmung			
Massnahmenkombination	**Gefährdungsbild**		Einpassung in das Terrain	Formgestalt der Baute	Nutzungskonzept Innenräume	Ort und Höhenlage von Öffnungen	Nutzungskonzept Aussenraum	Aussenwände	Öffnungen	Auffangdamm	Erhöhte Anordnung	Ablenkmauern/Ablenkdämme	Spaltkeil
		Bestehende Baute											
A	1						•	•	•				
B	1								(•)	•			
C	2								(•)			•	
D	2						•		(•)				•
		Neubaute											
E	1		•	•	•	•	•	•	•				
F	1					•	•			•			
G	1										•		
H	2					•	•					•	
I	2		•	•	•	•	•						•

Massnahmen-kombination A

An der bestehenden Baute werden die gefährdeten Aussenwände und Öffnungen verstärkt. Insbesondere bei Öffnungen wird zudem auf Wasserdichtigkeit geachtet.

Intensive Aussenraumnutzungen werden im Bereich der durch das Gebäude geschützten Bereiche angesiedelt.

Massnahmen-kombinationen B und C

Mittels eines Auffangdammes oder Ablenkdammes wird die Baute und ihre Umgebung weitgehend von der Übermurung geschützt. Ein allfälliges Restrisiko betrifft in der Regel die Gebäudeöffnungen.

Diese müssten entsprechend geschützt werden.

Massnahmen-kombination D

Der Spaltkeil leitet die Gesteins-Wassermassen um das Gebäude herum. Öffnungen in den seitlichen Aussenwänden müssen geschützt werden, wenn sie vom Murgang erreicht werden können.
Wird der Spaltkeil in Form von seitlichen Flügelmauern verlängert, so ergibt sich hierdurch ein guter Schutz von seitlichen Öffnungen. Der Eingriff an der bestehenden Baute ist gering, wenn zwischen Spaltkeil und Gebäude ein Abstand verbleibt (Lichteinfall).

Massnahmen-kombination E

Bei Neubauten kann von Beginn weg das Baukonzept an die Gefährdung durch Murgänge angepasst werden. Dies geschieht durch eine optimale Einpassung in das Terrain, eine günstige Formgestalt, eine angepasste Nutzung von gefährdeten Innen- und Aussenräumen, sowie durch eine geeignete Wahl von Ort und Höhenlage von Öffnungen. Bei hohen Drücken müssen die Aussenwände entsprechend verstärkt werden.

Massnahmen-kombinationen F und H

Mittels eines Auffangdammes oder Ablenkdammes wird die Baute und ihre Umgebung weitgehend von der Übermurung geschützt. Ein allfälliges Restrisiko betrifft in der Regel die Gebäudeöffnungen.

Dieses Risiko kann durch eine geeignete Wahl von Ort und Höhenlage der Öffnungen minimiert werden.

Massnahmen-kombination G

Die erhöhte Anordnung stellt eine kostengünstige und sehr effiziente Massnahme bei Neubauten dar. Das Gebäude wird auf einer Anschüttung erstellt. Zugang und Zufahrt werden als Rampen ausgeführt.

Das Gebäude ist dadurch dem direkten Murgangangriff nicht ausgesetzt und weitergehende Massnahmen erübrigen sich.

Massnahmen-kombination I

Die Anordnung eines Spaltkeiles bei Neubauten ermöglicht einen optimalen Schutz vor hohen Drücken bei gleichzeitiger zweckmässiger Anordnung von Öffnungen und Innenraumnutzungen.

Der Aussenraum bleibt gefährdet, so dass diese Nutzungen im Schutz des Gebäudes vorzusehen sind.

Personenschutz

Vor dem Ereignis:
· Verlassen von Unter- und Erdgeschossen
· Evakuation von behinderten Personen aus Erdgeschossen
· Warnung von Personen im Freien (Schaulustige)
· Folgende wichtigen Hilfsmittel an einem sicheren Ort bereitstellen:
- Nahrungsmittel, Trinkwasser
- Erste-Hilfe-Material, Medikamente
- Schaufel, Pickel, Brecheisen, Werkzeug, Reinigungsmaterial
- Notbeleuchtung

Während dem Ereignis:
· Mitteilung über Ereignis an Polizei (Kant. Notrufzentrale)
· Rettung von Personen in Notsituationen oder Veranlassung der entsprechenden Fremdrettung (Kant. Notrufzentrale)
· Verbleiben in Obergeschossen
· Abhören von Mitteilungen des Lokalradios
· Kein Aufenthalt in Autos oder Wohnmobilen

Sachgüterschutz

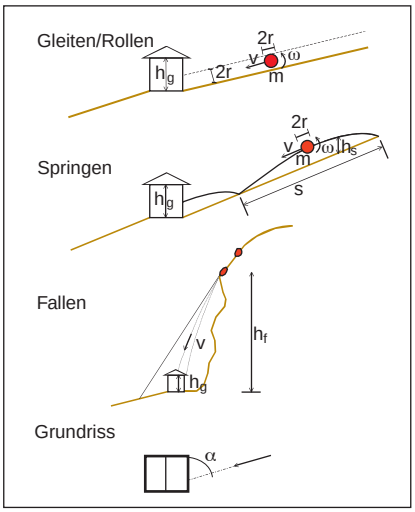
Vor dem Ereignis für Wohngebäude:
· Anbringen der vorgesehenen temporären Schutzvorkehrungen (Schutzschilde, Fenster, Türen und Tore schliessen)
· Evakuation von wasserempfindlichen Gütern und Dokumenten aus Unter- und Erdgeschossen
· Gas bzw. Strom abstellen
· Elektrische Geräte ausstecken
· Gefährliche Stoffe an sichere Orte bringen (Brand-, Explosions-, Vergiftungsgefahr)

Vor dem Ereignis für Gewerbe- und Industriebetriebe:
· Laufende Prozesse abschalten, entflammbare oder brennbare Flüssigkeiten aus offenen Tanks entfernen
· Strom am Hauptschalter abstellen, wenn Kurzschlüsse möglich sind
· Alle Leitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase entleeren, um den Austritt grösserer Flüssigkeits- und Gasmengen aus beschädigten Leitungen zu verhindern
· Wichtige Maschinen, Vorräte und Dokumente an höher gelegene Orte bringen
· Bremsen an fahrbaren Kränen und Brücken überprüfen und gemäss Herstelleranweisung für Ruhezeiten arretieren
· Sandsäcke an gefährdeten Gebäudeöffnungen plazieren
· Folgende Geräte und Materialien an einem zentralen, sicheren Ort bereitstellen:
- tragbare Pumpen und Schläuche
- Notbeleuchtung
- elektrische und manuelle Werkzeuge
- Schaufeln, Pickel, Brecheisen und Äxte
- Reinigungsgeräte
· Für die auf dem Gelände bleibende Notmannschaft folgende Geräte und Materialien bereithalten:
- Funkgeräte
- Erste-Hilfe-Ausrüstung
- Beleuchtung, Batterien
- unverderbliche Nahrungsmittel
- Trinkwasser

Nach dem Ereignis:
· Überprüfung von Art und Grad der Schäden
· Unterbrochene Ver- oder Entsorgungsleitungen der zuständigen Institution melden
· Schadenmeldung an die zuständige Versicherungsinstitution
· Veranlassung der notwendigen Fremdleistungen hinsichtlich Reinigung und Reparatur
· Durchführung der möglichen Eigenleistungen hinsichtlich Reinigung und Reparatur.



Bezeichnungen



h_f [m] Freie Fallhöhe der Sturzkomponente
h_g [m] Gebäudehöhe
h_s [m] Sprunghöhe der Sturzkomponente
s [m] Sprungweite der Sturzkomponente
r [m] Radius der Ersatzkugel mit gleichem Volumen und gleicher Masse wie der massgebenden Sturzkomponente
l_h [m] Dicke der Stahlbetonwand
l_c [m] Seitenlänge des Ersatzprismas der massgebenden Sturzkomponente
l_w [m] Verschiebung des Durchstanzkonus bei Stahlbetonwänden
l_d [m] Eindringtiefe der Ersatzkugel in das Eindeckungsmaterial
l_e [m] Mächtigkeit der Eindeckung
m [t] Masse der für die Bemessung massgebenden Sturzkomponente
v [m/s] Geschwindigkeit der Sturzkomponente (Translationsgeschwindigkeit)
ω [1/s] Eigenrotation der Sturzkomponente (Rotationsgeschwindigkeit)
I [t∗m²] Massenträgheitsmoment
E_{trans} [kJ] Translationsenergie
E_{rot} [kJ] Rotationsenergie
E_{max} [kJ] maximal aufnehmbare Energie bei Stahlbetonwänden
α [°] horizontaler Ablenkwinkel der Flugbahn in Bezug auf das Objekt
φ [°] innerer Reibungswinkel des Eindeckungsmateriales
M_E [kN/m²] statischer Zusammendrückungsmodul des Eindeckungsmateriales
a_s [mm²/m] Querschnitt der Bewehrung der Stahlbetonwand (in beiden Richtungen)
A [m²] Fläche der einwirkenden Einzellast (Anprall)
C_k [-] Konstruktionsbeiwert
C_p [-] Beiwert der plastischen Deformation der Sturzkomponente
g [m/s²] Erdbeschleunigung (10 m/s²)
q_e [kN/m²] statischer Ersatzdruck der Einzellast (Anprall)
Q_e [kN] statische Ersatzkraft der Einzellast (Anprall)
R [kN] Durchstanz-Bruchkraft der Stahlbetonwand

Begriff der Sturzkomponente

Als Sturzkomponenten werden Steine (Durchmesser < 0.5 m) und Blöcke (Durchmesser > 0.5 m) aus Felsmaterial und entsprechend grosse Kompartimente aus Eis verstanden.

Im folgenden wird jeweils nur mehr das Wort Steinschlag für diese möglichen Sturzkompartimentsgrössen und Materialarten verwendet.

Charakterisierung

Sturzprozesse können am besten durch die Betrachtung von frei fallenden Massenkörpern charakterisiert werden. Die folgende Tabelle zeigt die Translationsenergie von kugelförmigen Sturzkomponenten in Abhängigkeit ihrer Masse (resp. des Radius der Ersatzkugel) und der Translationsgeschwindigkeit (resp. der entsprechenden freien Fallhöhe). Die Rotationsenergie der Sturzkomponente wird in dieser Tabelle vernachlässigt.

Translationsenergie E_{trans}[kJ] kugelförmiger Sturzkomponenten

Masse m [t]	Radius r [m]	Freie Fallhöhe h_f [m]								
		0.3	1	5	12	20	32	46	62	82
		Translationsgeschwindigkeit v [m/s]								
		2.5	5	10	15	20	25	30	35	40
0.001	0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8
0.01	0.10	0.0	0.1	0.5	1	2	3	5	6	8
0.05	0.16	0.2	0.6	3	6	10	16	23	31	40
0.10	0.21	0.3	1	5	11	20	31	45	61	80
0.17	0.25	0.5	2	9	19	34	53	77	104	136
0.25	0.28	0.8	3	13	28	50	78	113	153	200
0.50	0.35	2	6	25	56	100	156	225	306	400
1.00	0.45	3	13	50	113	200	313	450	613	800
1.40	0.50	4	18	70	158	280	438	630	858	1120
2.00	0.56	6	25	100	225	400	625	900	1225	1600
3.00	0.65	9	38	150	338	600	938	1350	1838	2400
4.00	0.71	13	50	200	450	800	1250	1800	2450	3200
5.00	0.76	16	63	250	563	1000	1563	2250	3063	4000
6.00	0.81	19	75	300	675	1200	1875	2700	3675	4800
7.00	0.86	22	88	350	788	1400	2188	3150	4288	5600
11.00	1.00	34	138	550	1238	2200	3438	4950	6738	8800
22.00	1.25	69	275	1100	2475	4400	6875	9900	13475	17600
38.00	1.50	119	475	1900	4275	7600	11875	17100	23275	30400

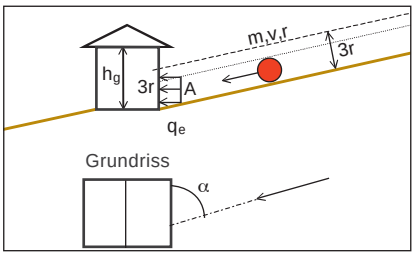
Translations-energie E_{trans}	Zerstörungs-potenzial	Energieaufnahmevermögen von Fangkonstruktionen
0 bis 10 kJ	Zerstörung von Holzschichtwänden	Stahlstützen mit Fichtenrundholz
10 bis 30 kJ	Zerstörung von Fichtenrundholz-wänden	Stahlstützen mit Eichenholz Drahtgeflechte mit einfacher Torsion
30 bis 100 kJ	Zerstörung von Stahlbetonwän-den der Dicke 0.2 bis 0.3 m	Einfache Drahtseilnetzverbauungen
100 bis 300 kJ	Zerstörung von Stahlbetonwän-den der Dicke 0.4 bis 0.5 m	Verbesserte Drahtseilnetzver-bauungen
300 bis1000 kJ		Drahtseilringnetze mit Brems-elementen
1000 bis 2000 kJ		Spezielle Drahtseilringnetz-konstruktionen
über 2000 kJ		Erddämme

Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung von Objektschutz-massnahmen bedarf es Angaben zu *Bewegungsform, Sprunghöhe, Masse* und *Trans-lationsgeschwindigkeit* der Sturz-komponenten. Als Alternative zu Masse und Translationsgeschwin-digkeit können die zu erwartende *Translations- und Rotationsenergie* zur Bemessung verwendet werden.

Diese Angaben können aus den Intensitätskarten und dem techni-schen Bericht abgeleitet werden. Existieren keine Intensitätsangaben, so sind diese durch einen Gefahren-fachmann zu bestimmen.

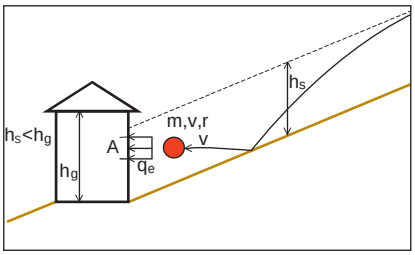
Gefährdungsbild 1



Sturzkomponenten rollen oder gleiten

Die Sturzkomponenten bewegen sich rollend oder gleitend auf die Baute zu. Beim Gleiten bildet sich die Bewegungsenergie allein aus der Translationsenergie, währenddem beim Rollen die Rotationsenergie hinzukommt. Als Einwirkung ist die Anprallkraft der bewegten Masse m auf die Baute zu berücksichtigen. Diese wird durch einen statischen Ersatzdruck q_e repräsentiert, welcher über eine Fläche A einwirkt. Der vertikale Wirkungsbereich wird ab Terrainoberfläche bis zur Wandhöhe $3*r$ angenommen. Aufgrund des Ablenkwinkels α ist zu eruieren, welche Wände von der Einwirkung betroffen sind.

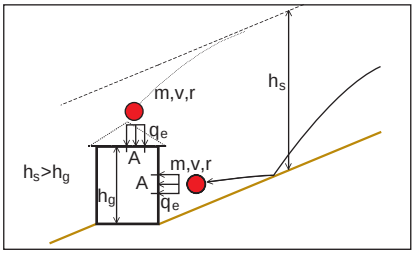
Gefährdungsbild 2



Sturzkomponenten springen bis Wandhöhe

Die Sturzkomponenten bewegen sich springend auf die Baute zu. Ihre Bewegungsenergie setzt sich aus Translations- und Rotationsenergie zusammen. Die Sprunghöhe h_s ist kleiner als die Gebäudehöhe h_g. Dadurch sind ausschliesslich Wände der Baute betroffen. Als Einwirkung ist die Anprallkraft der bewegten Masse auf die Baute zu berücksichtigen. Diese wird durch einen statischen Ersatzdruck q_e repräsentiert, welcher über eine Fläche A einwirkt. Der vertikale Wirkungsbereich wird ab Terrainoberfläche bis zur Sprunghöhe h_s angenommen. Aufgrund des Ablenkwinkels α ist zu eruieren, welche Wände von der Einwirkung betroffen sind.

Gefährdungsbild 3



Sturzkomponenten fallen oder springen über Gebäudehöhe

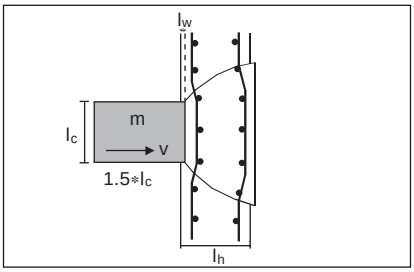
Die Sturzkomponenten bewegen sich springend oder fallend auf die Baute zu. Beim Fallen bildet sich die Bewegungsenergie allein aus der Translationsenergie, währenddem beim Springen die Rotationsenergie hinzukommt. Die Sprunghöhe h_s, resp. die Fallhöhe h_f ist grösser als die Gebäudehöhe h_g. Dadurch sind sowohl Wände wie auch das Dach der Baute durch das Ereignis betroffen.

Als Einwirkung ist die Anprallkraft der bewegten Masse auf die Baute zu berücksichtigen. Diese wird durch einen statischen Ersatzdruck q_e repräsentiert, welcher über eine Fläche A einwirkt. Aufgrund des Ablenkwinkels α ist zu eruieren, welche Wände von der Einwirkung betroffen sind.

Translations- und Rotationsenergie

Gleiten:
Im Falle des Gleitens von Sturzkomponenten auf geneigter Ebene wirkt lediglich die Translationsenergie. Sie ist:
$E_{Trans} = 0.5 * m * v^2$ [kJ]
Translationsenergie
Rollen:
Im Falle des Rollens auf geneigter Ebene wirkt neben der Translationsenergie auch die Rotationsenergie. Sie ist:
$E_{Rot} = 0.5 * I * \omega^2$ [kJ]
Rotationsenergie
wobei $I = 0.4 * m * r^2$ [$t * m^2$]
Massenträgheitsmoment einer Kugel
Als Richtgrösse kann angenommen werden, dass die Rotationsenergie beim Rollen rund 20% der Gesamtenergie beträgt.
Springen:
Die Bewegungsenergie setzt sich beim Springen analog wie beim Rollen aus der Translations- und der Rotationsenergie zusammen. Als Richtgrösse kann angenommen werden, dass die Rotationsenergie beim Springen 10% bis maximal 20% der Gesamtenergie beträgt.
Während eines Stosses (Bodenkontakt, Baumkontakt) zwischen zwei Flugphasen wird ein Teil der Bewegungsenergie durch Reibungsvorgänge zwischen Boden und Stein und durch Verformungen des Bodens aufgezehrt.
Fallen:
Die Bewegungsenergie berechnet sich beim Fallen ausschliesslich aus der Translationsenergie des freien Falles (vgl. Tabelle zu Beginn dieses Kapitels). Die Geschwindigkeit des freien Falles beträgt:
$v = (2 * g * h_f)^{0.5}$ [m/s]
Geschwindigkeit des freien Falles.

Anprallkraft bei ungeschützten Stahlbetonwänden



Beim Aufprall eines Steines oder Blockes auf eine Stahlbetonwand mit einer Geschwindigkeit von 2.5 m/s bis 40 m/s handelt es sich um den sogenannten harten Stoss.
Es treten Kontaktdeformationen auf der Wandaussenseite und Abplatzungen auf der Wandinnenseite auf. Massgebendes Wandversagen ist in der Regel lokales Durchstanzen. Beim harten Stoss handelt es sich um ein sehr komplexes Problem. Bei den hier wiedergegebenen Bemessungsansätzen handelt es sich um grobe Näherungen. Die Grundlage für die folgenden Berechnungen stellt die unveröffentlichte Arbeit von Tissières 1996 dar. Als Einwirkung wird die Energie der Sturzkomponente berücksichtigt (Translationsenergie).
Die Energie aus Eigenrotation (Rotationsenergie) wird dabei vernachlässigt. Die aufnehmbare Energie der Stahlbetonwand ergibt sich aus dem Produkt von Bruchkraft R und Verschiebung l_w des Durchstanzkonus.
Es wird angenommen, dass der volle Bewehrungswiderstand erreicht wird, wenn die Verschiebung l_w eine Grössenordnung von 20 mm erreicht. Mit dieser Verschiebung kann auch die statische Ersatzkraft Q_e berechnet werden:
$Q_e = (E_{trans} * C_k * C_p) / l_w = (0.5 * m * v^2 * C_k * C_p) / l_w$ [kN]
statische Ersatzkraft durch Anprall
Der Konstruktionsbeiwert C_k berücksichtigt das Bruchverhalten und ist gemäss BFS 1998:
$C_k = 0.4$ bzw. 0.6 [-]
duktiler Bruch (z.B. Biegebruch bewehrter Platten)
$C_k = 1.2$ [-]
spröder Bruch (z.B. Durchstanzen ohne Schubbewehrung)
Die plastische Deformation des Blocks C_p durch den Anprall vernichtet ihrerseits einen Teil der Translationsenergie.

Bei Blöcken wird angenommen, dass dieser Anteil ca. 15 % beträgt.
$C_p = 0.85$

Beiwert der plastischen Deformation der Sturzkomponente

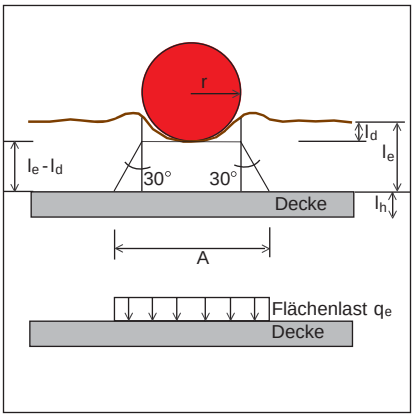
Die maximal aufnehmbare Energie E_{max} und die Bruchkraft R von Stahlbetonwänden ohne Schubbewehrung wird im folgenden für unterschiedliche Wanddicken l_h und für unterschiedliche Bewehrungsgehalte a_s betrachtet. Als Blockform wird ein Prisma mit quadratischer Seitenlänge l_c und Höhe $1.5 * l_c$ angenommen. Unter der Annahme eines spröden Bruchverhaltens ergeben sich folgende max. aufnehmbaren Energien und Bruchkräfte für innere, sowie innere und äussere Bewehrung: (Beton B 35/25, Stahl S 500, $C_k = 1.2$, $\gamma_Q = 1.0$, $\gamma_R = 1.0$.
Berechnung, Jörg Rutz, GVA St.Gallen):

Querschnitt der Wandbewehrung a_s [mm²/m]	Wanddicke l_h [m]	Blockmasse m [t]	Bruchkraft R [kN]		max. aufnehmbare Energie E_{max} [kJ]	
			innere Bewehrung	innere und äussere Bewehrung	innere Bewehrung	innere und äussere Bewehrung
393	0.2	0.1	780	1030	16	21
	0.2	0.5	1150	1590	23	32
	0.2	1.0	1390	1930	28	39
754	0.2	0.1	1080	1560	22	31
	0.2	0.5	1600	2430	32	49
	0.2	1.0	1920	2960	38	59
	0.3	0.1	1630	2110	33	42
	0.3	0.5	2280	3110	46	62
	0.3	1.0	2680	3730	54	75
	0.4	0.1	2270	2750	45	55
	0.4	0.5	3060	3890	61	78
	0.4	1.0	3550	4590	71	92
1340	0.2	0.1	1570	2430	31	49
	0.2	0.5	2310	3790	46	76
	0.2	1.0	2770	4630	55	93
	0.3	0.1	2220	3080	44	62
	0.3	0.5	3100	4580	62	92
	0.3	1.0	3650	5500	73	110
	0.4	0.1	2980	3830	60	77
	0.4	0.5	3990	5470	80	109
	0.4	1.0	4620	6480	92	130
2010	0.3	0.1	2910	4190	58	84
	0.3	0.5	4050	6260	81	125
	0.3	1.0	4750	7540	95	151
	0.4	0.1	3790	5070	76	101
	0.4	0.5	5060	7270	101	145
	0.4	1.0	5850	8630	117	173

Für Wiederkehrperioden < 30 Jahre kann im Sinne eines Gebrauchstauglichkeits-Nachweises verlangt werden, dass der Anprall nicht zu Betonabplatzungen an der Wandinnenseite führt. Dieser Nachweis kann z.B. nach Brown/Perry (vgl. CEB 1988) geführt werden. Es zeigt sich, dass Abplatzen nicht mit zusätzlicher Bewehrung, sondern mit grösserer Wanddicke vermieden wird.

Anprallkraft bei erdüberdeckten Stahlbetondecken

Für erdüberdeckte Betontragwerke konnte aufgrund von ausgedehnten Modellversuchen ein Bemessungsansatz hergeleitet werden (BFS 1998). Die statische Ersatzkraft wird durch die Wirkung eines Ersatzkörpers in Form einer Kugel mit der Masse m beschrieben. Die Lastverteilung infolge der Eindeckung wird unter der Annahme eines Ausbreitungswinkels von 30° angenommen.



Die für die Bemessung zu verwendende Flächenlast q_e wird auf der Einflussfläche als gleichmässig verteilt eingeführt.
Die erforderliche minimale Mächtigkeit der Eindeckung l_e soll grösser sein als die doppelte Eindringtiefe l_d resp. grösser als 0.5 m.
Die statische Ersatzkraft Q_e und die Eindringtiefe l_d werden wie folgt ermittelt:

$$Q_e = 2.8 * C_k * l_e^{-0.5} * r^{0.7} * M_E^{0.4} * \tan\varphi * (0.5 * m * v^2)^{0.6}$$

$$l_d = m * v^2 / Q_e$$

1 Einpassung in das Terrain



Eine gute Einpassung in das Terrain schützt die Baute vor dem direkten Steinschlagangriff. Dies geschieht durch eine erhöhte Anordnung des Gebäudekörpers bei rollenden oder gleitenden Sturzkomponenten.

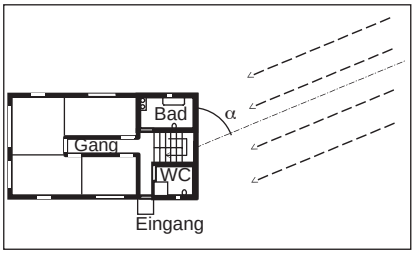
Dadurch kann die direkt gefährdete Aussenwandfläche klein gehalten werden. Eine vertiefte Anordnung des Gebäudekörpers wird bei springenden Sturzkomponenten gewählt. Die bergseitig zu schützende Aussenwandfläche verringert sich mit dieser Massnahme.

3 Formgestalt / Statisches Konzept der Baute

Die Gebäudefront, welche sich der Sturzrichtung entgegenstellt, ist kurz zu halten. Dadurch wird die Trefferwahrscheinlichkeit ebenfalls gering gehalten.

Ferner sind Tragwerke der Baute geschützt in Bezug auf die Sturzrichtung anzuordnen. Flächentragelemente sind Stützentragelementen vorzuziehen.

4 Nutzungskonzept der Innenräume



Das Personenrisiko in Gebäuden wird durch eine angepasste Raumnutzung reduziert. Im Bereich der direkt betroffenen Aussenwand werden Räume mit allgemein kurzer Aufenthaltsdauer von Personen angeordnet. So zum Beispiel Verbindungsgänge oder Nasszellen.

5 Ort von Öffnungen

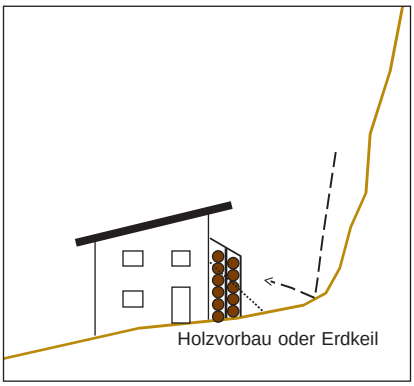
Gebäudeöffnungen wie Fenster und Türen stellen die markanteste Schwachstelle bei der Steinschlageinwirkung dar. Daher werden Fenster in der sturzseitigen Aussenwand vermieden oder zumindest nur sehr klein gehalten.

Solche Öffnungen bedürfen immer einer Verstärkung (vgl. weiter hinten). Sturzseitige Eingänge sind nur in begründeten Ausnahmefällen möglich, sofern sie durch geeignete Massnahmen permanent geschützt sind.

6 Nutzungskonzept des Aussenraumes

Intensive Nutzungsformen im Bereich des Aussenraumes sollen sich in den durch die Baute geschützten Partien befinden. Sitzplätze und Balkone sind daher im Bereich des sturzabgewandten Aussenraumes anzuordnen. Ebenso ist darauf zu achten, dass die Zufahrt und der Zugang zum Gebäude geschützt angeordnet werden.

Verschalung von Wänden



Verschalung:
Die Verschalung von Wänden mit stossdämpfenden Materialien stellt eine sehr effiziente Massnahme dar. Das Tragelement wird so weitgehend vor der direkten Einwirkung geschützt. Die dämpfende Schicht soll die Stosskraft des Steins verringern. Dies geschieht durch eine Kraftaufnahme über einen möglichst langen Deformationsweg.
Als Dämpfungsmaterialien kommen Holz oder künstlich hergestellte Produkte in Frage.
Mittels vorgesetzten Rundholzkonstruktionen lassen sich architektonisch gut integrierte Lösungen erzielen. Das Dämpfungsvermögen beträgt:

Rundholzdurchmesser	Holzart	Brucharbeit [kJ]
0.20 m	Fichte	1.5
0.20 m	Ahorn	2
0.20 m	Eibe	5
0.50 m	Fichte	9
0.50 m	Ahorn	15
0.50 m	Eibe	30
1.00 m	Fichte	35
1.00 m	Ahorn	50
1.00 m	Eibe	120

Anschüttung / Verstärkung von Wänden

Anschüttung:
Eine weitere Möglichkeit zum Schutz von stossempfindlichen Aussenwänden besteht darin, diese mittels Erdmaterial anzuschütten. Aufgrund der hervorragenden Dämpfungswirkung von Erdmaterial lassen sich selbst sehr hohe Sturzenergien bewältigen. Der Nachteil der Anschüttung besteht in ihrem vergleichsweise grossen Raumbedarf bei hohen zu schützenden Wänden.
Diesem Nachteil kann mittels übersteilen armierten Boden-Geotextil-Konstruktionen begegnet werden.

Verstärkung:
Eine Verstärkung von Wänden in Neubauten kann mittels eines erhöhten Bewehrungsgehaltes bei Stahlbetonwänden geschehen.
Eine Erhöhung der Wandstärken ist möglich, dies stellt jedoch kaum eine kostengünstige Variante dar.
Das Energieaufnahmevermögen steigt nur beschränkt im Vergleich zu den zusätzlichen Materialkosten.

Die Verstärkung von Wänden in bestehenden Bauten erfolgt mittels Klebebewehrung durch Stahllamellen oder zusätzlicher Wandbewehrung in Gunitschicht oder Vorsatzbeton. Stahllamellen weisen einen grossen Fliessbereich und dementsprechend ein grosses plastisches Energieaufnahmevermögen auf. Sie werden üblicherweise vertikal angeordnet (von Boden bis Decke). Vorteilhaft sind dünne Lamellen. In der Regel sind mechanische Endverankerungen (Schubanker, Zuganker) auf volle Lamellen-Zugkraft erforderlich. Die minimal erforderliche Haftzugfestigkeit in Beton beträgt 2.0 N/mm^2. Bei Stein- und Blockschlageinwirkung sind zur Verhinderung des Durchstanzens entsprechend kleine Lamellenabstände erforderlich. Bei beiden Verstärkungsarten hat das gute Aufrauhen der Betonoberfläche wesentliche Bedeutung.

Schutz von Öffnungen

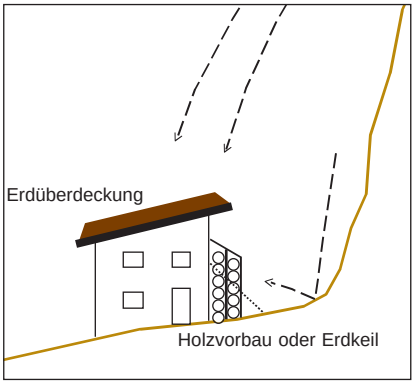
Der Schutz von Fenstern kann mittels Sprossen aus Stahl erfolgen. Der Abstand zwischen Sprossen und Fenster muss ausreichend gross gewählt werden, damit ein ausreichender Deformationsweg zur Verfügung steht.

Gefährdete Türen sind mittels Schutzmauern oder lokalen Dämmen vor der Einwirkung zu schützen.

Verstärkung / Überschüt-tung des Daches

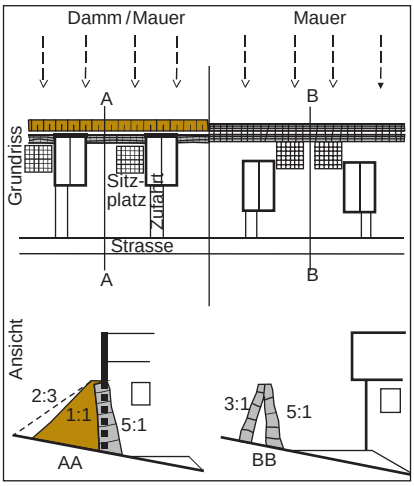
Ein optimaler Schutz von Dach-flächen wird mittels Erdüberdeckung erreicht. Als Konstruktionstyp eignen sich daher leicht geneigte Flachdächer.

Die Bemessung kann nach den-selben Kriterien vorgenommen werden, wie sie speziell für Stein-schlagschutzgalerien entwickelt wurden (vgl. BFS 1998).



Einzelne Abschirmungsmassnahmen üben einen massgebenden Einfluss auf die Ausbreitung der Gefährdung aus. Solche Massnahmen dürfen nur ergriffen werden, wenn sich durch deren Einsatz die Gefährdung von benachbarten Objekten nicht erhöht. Dieses Symbol soll auf diese Problematik hinweisen.

Auffangdamm/Auffangmauer



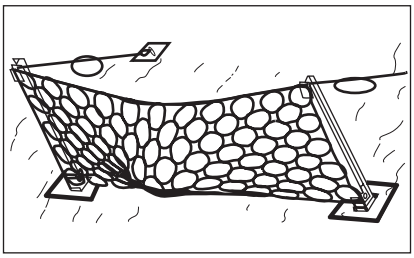
Konstruktionsformen gewählt werden. Im Vordergrund stehen dabei Blockstein-, Steinkorb- oder Geotextilkonstruktionen.



Mittels Erddämmen können selbst Sturzenergien über 2000 kJ aufgenommen werden. Sie stellen somit die wirksamste Steinschlagschutzmassnahme dar in Bezug auf die Energievernichtung. Ihr Anwendungsbereich wird durch den grossen Raumbedarf begrenzt. Insbesondere bei grossen Sprunghöhen der Sturzkomponenten wird die notwendige Dammgrundfläche sehr gross. Dieser Nachteil lässt sich minimieren, indem einseitig oder beidseitig des Dammes als Böschungsabschluss übersteile



Drahtseilnetz



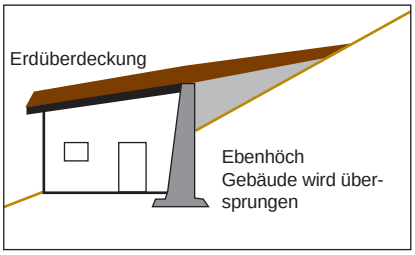
Im Bereich der Drahtseilnetzverbauungen hat in den letzten 10 Jahren eine eigentliche Innovation stattgefunden. Bis fast Ende der Achziger Jahre konnten Energien bis rund 200 kJ aufgenommen werden.

Diese Grenze der Gebrauchslast konnte nun mit Hilfe neuerer Konstruktionen (Drahtseilringnetze) auf 2000 kJ angehoben werden.
Zur Bemessung werden von den Herstellerfirmen Energiediagramme abgegeben, welche mittels Steinschlagversuchen bestimmt werden. Kennzeichnend für diese Kurven ist das kleinere Energieaufnahmevermögen bei geringen Steinmassen m. Der Grund liegt im Deformationsverhalten der Systeme bzw. einzelner Elemente.

Ein auf hohe Energien aus schweren Steinen ausgelegtes System ist somit nicht ohne weiteres auch für leichte aber sehr schnelle Steine geeignet.



Ebenhöch



Ebenhöch werden Bauten genannt, deren Dach bergseits nahtlos an das Terrain oder eine Anschüttung anschliesst. Der Stein überspringt dadurch die Baute. Eine spezielle Lösung muss für Kamine gesucht werden (z.B. in Form eines ersetzbaren Leichtaufbaus). Die statische Belastung ist mit derjenigen von erdüberdeckten Dächern zu vergleichen.
Diese Massnahme kann nur für alleinstehende Einzelbauten mit eingeschänkter Aussenraumnutzung von Interesse sein. Das Gebäude wird gut geschützt, der Aussenraum bleibt allerdings gefährdet. Die Steine werden in ihrer Bewegungsrichtung abgelenkt, so dass benachbarte Objekte zusätzlich gefährdet würden.

Stabilisierung

Bei kleinräumigen Ausbruchbereichen direkt angrenzend an das gefährdete Objekt sind Stabilisierungsmassnahmen an der Sturzquelle von Bedeutung.

a) Verkleidung / Begrünung
Durch die Verkleidung oder Begrünung soll die Oberfläche vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Nach Möglichkeit ist die Felsböschung zu begrünen und zu bepflanzen. Bei steilen Böschungen sind aus Gründen der Oberflächenerosion Kombinationen aus Geotextil, Seilnetzen und Ankern oder Nägeln notwendig. Bei nahezu senkrechten Böschungen ist eine Verkleidung nur mehr in Form von Spritzbeton möglich.



b) Steinschlaggeflechte
Durch Geflechte werden einzelne, sich ablösende Steine aufgefangen, am Springen gehindert und kontrolliert nach unten zum Böschungsfuss abgegeben.

Diese Massnahme eignet sich insbesondere für verwitternde Nagelfluhwände. Als Material werden Geflechte aus verzinkten Drähten oder verknotetem Kunststoff verwendet. Die Geflechte werden in einem Abstand von 0.3 bis 0.4 m zur Felsoberfläche montiert. Dadurch wird verhindert, dass sich abgelöste Steine verfangen und Ablagerungen bilden, welche die Geflechte zerstören.



c) Stützelemente /Anker
Zur Erhöhung der Standsicherheit können überhängende oder unterschnittene Felsmassen durch Beton- oder Stahlpfeiler abgestützt werden. Bei der Anordnung mehrerer Pfeiler empfiehlt es sich, einen horizontalen Betonriegel als Widerlager auszubilden.
Zur Sicherung niedriger senkrechter Böschungen können Stützmauern verschiedener Art angeordnet werden. Sie dienen der Erhöhung von Gleit- und Kippsicherheit oder der Verminderung der Verwitterungsanfälligkeit.
Die Standsicherheit einzelner Blöcke oder Böschungsabschnitte kann durch Felsanker erhöht werden. Bezüglich Bemessung und Korrosionsschutz wird auf die SIA Norm 191 verwiesen.

d) Abflachung
Kleine Felsböschungen können durch Abflachung unter 40° in ihrem Gefahrenpotenzial reduziert werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass solche Böschungen infolge des veränderten Oberflächengefüges stärker verwittern.

e) Drainagen
Drainagen sollen sowohl das Eindringen von Oberflächenwasser in die Böschung, als auch das Felskompartiment tiefgründig entwässern. Diese Massnahme hemmt die natürlichen Verwitterungsvorgänge und wird in Kombination mit anderen Stabilisierungsmassnahmen angewandt.

Massnahmen-kombinationen

Im folgenden werden für jedes Gefährdungsbild mögliche Massnahmenkombinationen für bestehende Bauten und für Neubauten vorgestellt.

Nur durch die Kombination der vorgestellten Massnahmen der Konzeption, Verschalung/Verstärkung und Abschirmung/Stabilisierung ergibt sich eine wirkungsvolle Risikoverminderung.

		Konzeption					Verschalung Verstärkung			Abschirmung Stabilisierung			
Massnahmenkombination	**Gefährdungsbild**	Einpassung in das Terrain	Formgestalt/statisches Konzept	Nutzungskonzept der Innenräume	Ort von Öffnungen	Nutzungskonzept Aussenraum	Aussenwände	Öffnungen	Dach	Auffangdamm/Auffangmauer	Steinschlagnetz	Ebenhöch	Stabilisierung
Bestehende Baute													
A	1					•	•	(•)					
B	1					•				•			
C	1					•					•		
D	2					•	•	•					
E	2					•				•			
F	2					•					•		
G	3					•	•	•	•				
H	1/2/3					•							•
Neubaute													
I	1	•	•	•	•	•	•	(•)					
J	1				•	•				•			
K	1				•	•					•		
L	2	•	•	•	•	•	•	•					
M	2	•		•	•	•				•			
N	2	•		•	•	•					•		
O	3	•	•	•	•	•	•	•	•				
P	3	•	•	•	•	•	•		•			•	
Q	1/2/3				•	•							•

Massnahmen-kombination A

Die bestehende Baute befindet sich im Auslaufbereich einer Sturzquelle und wird durch rollende oder gleitende Steine gefährdet. Mit Hilfe einer Wandverstärkung oder Wandverschalung im Bereich der betroffenen Aussenwandflächen sowie eines Schutzes allfälliger Öffnungen mittels Sprossen kann das Risiko innerhalb des Gebäudes reduziert werden. Intensiv genutzte Aussenraumbereiche werden geschützt hinter der Baute angeordnet.

Massnahmen-kombinationen B und C

Die Risikoreduktion wird mittels eines Auffangdammes, einer Auffangmauer oder eines Steinschlagnetzes erreicht. An der Baute und in deren Umgebung sind im Wirkungsbereich der Schutzmauer keine weiteren Massnahmen notwendig. Lediglich ungeschützt verbleibende Aussenraumbereiche bedürfen einer angepassten Nutzung.

Massnahmen-kombination D

Es handelt sich um dieselben Vorkehrungen wie bei Variante A.
Da es sich um springende Steine handelt, müssen die Massnahmen in einem bedeutend höheren Wirkungsbereich an der Baute angeordnet werden.

Massnahmen-kombinationen E und F

Dieselben Vorkehrungen wie bei Variante B. Der Schutzdamm, die Schutzmauer oder das Steinschlagnetz müssen ausreichend hoch bemessen werden, um die springenden Steine aufzuhalten.

Eine Restgefährdung bezüglich sehr hoch springenden Steinen kann nie ausgeschlossen werden. Daher sind zumindest im Bereich des Aussenraumes die Nutzungen dieser Restgefährdung anzupassen.

Massnahmen-kombination G

Die bestehende Baute ist durch fallende oder über die Gebäudehöhe springende Sturzkomponenten gefährdet. Am Dach, an den betroffenen Aussenwänden und Öffnungen werden Verstärkungen und v.a. Verschalungen angeordnet.

Nutzungen des Aussenraumes sind durch die Baute nicht geschützt. Aussenraumnutzungen sollen daher möglichst gering gehalten werden.

Massnahmen-kombination H

Der kleinräumige Ausbruchbereich der Sturzquelle liegt direkt angrenzend zum gefährdeten Objekt und kann mittels Stabilisierungsmassnahmen gesichert werden.

Am Objekt sind keine Massnahmen erforderlich. Bei verbleibender Restgefährdung sind Aussenraumnutzungen im Bereich der Sturzquelle zu minimieren.

Massnahmen-kombination I

Die Neubaute wird von Beginn weg an die Gefährdung durch rollende oder gleitende Sturzkomponenten angepasst. Dies geschieht durch einen erhöht angeordneten Gebäudekörper und eine angepasste Innenraumnutzung im exponierten Bereich des Erdgeschosses.

Öffnungen werden vermieden oder zumindest klein gehalten. Exponierte Aussenwände werden verstärkt ausgebildet oder zum Beispiel mit einer Rundholzkonstruktion verschalt. Aussenraumnutzungen werden von Beginn weg in geschützten Bereichen geplant.

Massnahmen-kombinationen J und K

Diese Vorkehrungen liegen sehr nahe der Anordnungen bei bestehenden Bauten (Kombinationen B und C).

Lediglich die Öffnungen in den exponierten Aussenwänden des Erdgeschosses werden angepasst, um das Restrisiko weiter zu minimieren.

Massnahmen-kombination L

Die Neubaute wird durch springende Sturzkomponenten bedroht. Mittels einer vertieften Anordnung des Gebäudekörpers sowie einer kurzen Gebäudefront werden die betroffenen Aussenwandflächen gering gehalten.
Öffnungen im Bereich des exponierten Wirkungsraumes werden vermieden oder zumindest klein gehalten. Die betroffenen Aussenwände werden verstärkt ausgebildet oder zum Beispiel mit einer Rundholzkonstruktion verschalt. Aussenraumnutzungen werden von Beginn weg in geschützten Bereichen geplant.

Massnahmen-kombinationen M und N

Die massgebliche Risikoreduktion wird durch den Bau der Schutzdämme/-mauern oder die Drahtseilnetze erreicht. Eine weitere Risikominderung ist vorzusehen, wenn Sturzkomponenten diese Schutzbauten überspringen. Dies erfolgt durch angepasste Nutzungskonzepte für die Innenräume und den Aussenraum.

Massnahmen-kombinationen O und P

Die Neubaute ist im Bereich von Aussenwandflächen und des Daches bedroht. Als Schutzvorkehrungen werden Massnahmen gemäss Kombination L ergriffen. Zusätzlich wird das Dach durch eine Dämpfungsschicht aus Erdmaterial geschützt. Wird das Gebäude als Ebenhöch ausgebildet, reduziert sich die Einwirkung auf Aussenwandflächen erheblich.

Massnahmen-kombination Q

Der kleinräumige Ausbruchbereich der Sturzquelle liegt direkt angrenzend zum gefährdeten Objekt und kann mittels Stabilisierungsmassnahmen gesichert werden.
Bei verbleibender Restgefährdung sind Aussenraumnutzungen im Bereich der Sturzquelle zu minimieren und Öffnungen im Bereich der betroffenen Aussenwände klein zu halten.

Personenschutz

Vor dem Ereignis:
· Aufsuchen von Räumen fern der wahrscheinlichen Gefahreneinwirkung
· Evakuation von behinderten Personen
· Verlassen des Gebäudes bei Aufforderung durch lokale Sicherheitsbehörde
· Warnung von Personen im Freien
· Folgende wichtige Hilfsmittel an einem sicheren Ort bereitstellen:
- Nahrungsmittel, Trinkwasser
- Erste-Hilfe-Material, Medikamente
- Notbeleuchtung
· Kein Aufenthalt in Autos und Wohnmobilen

Nach dem Ereignis:
· Mitteilung über Ereignis an Polizei (Kant. Notrufzentrale)
· Rettung von Personen in Notsituationen oder Veranlassung der entsprechenden Fremdrettung (Kant. Notrufzentrale)
· Vorbereitung auf mögliche Nachstürze
· Abhören von Mitteilungen des Lokalradios
· Befolgen der Anordnungen lokaler Sicherheitsbehörden

Sachgüterschutz

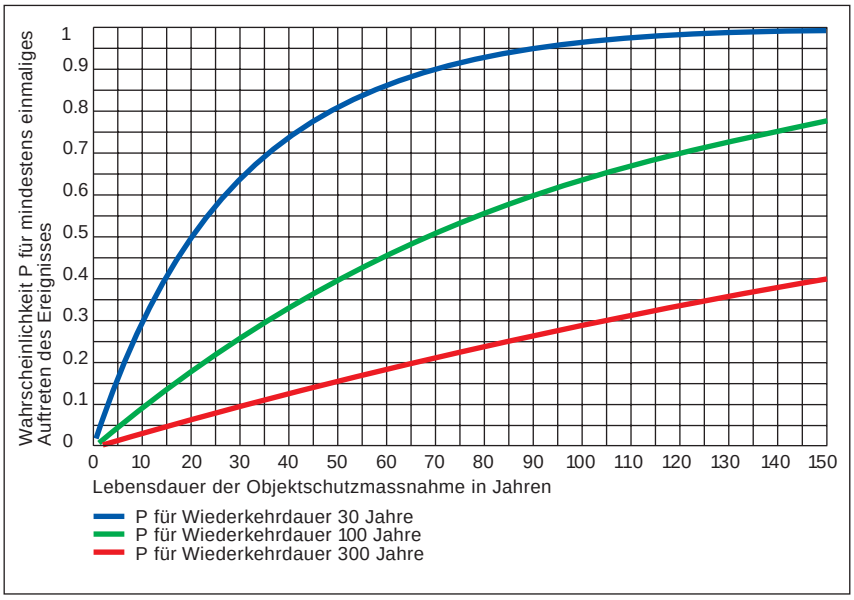
Vor dem Ereignis für Wohngebäude:
· Anbringen der vorgesehenen temporären Schutzvorkehrungen (Schutzschilde, Fenster, Türen und Tore schliessen)
· Gas bzw. Strom abstellen
· Gefährliche Stoffe an sichere Orte bringen (Brand-, Explosions-, Vergiftungsgefahr)
· Fahrzeuge in Garage abstellen

Vor dem Ereignis für Gewerbe- und Industriebetriebe:
· Laufende Prozesse abschalten, entflammbare oder brennbare Flüssigkeiten aus offenen Tanks entfernen
· Strom am Hauptschalter abstellen, wenn Kurzschlüsse möglich sind
· Alle Leitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase entleeren, um den Austritt grösserer Flüssigkeits- und Gasmengen aus beschädigten Leitungen zu verhindern
· Bremsen an fahrbaren Kränen und Brücken überprüfen und gemäss Herstelleranweisung für Ruhezeiten arretieren
· Folgende Geräte und Materialien an einem zentralen, sicheren Ort bereitstellen:
- Notbeleuchtung
- elektrische und manuelle Werkzeuge
- Schaufeln, Äxte, Pickel, Brecheisen
· Für die auf dem Gelände bleibende Notmannschaft folgende Geräte und Materialien bereithalten:
- Funkgeräte
- Erste-Hilfe-Ausrüstung
- Beleuchtung, Batterien
- unverderbliche Nahrungsmittel
- Trinkwasser

Nach dem Ereignis:
· Überprüfung von Art und Grad der Schäden
· Unterbrochene Ver- oder Entsorgungsleitungen der zuständigen Institution melden.
· Schadenmeldung an die zuständige Versicherungsinstitution
· Veranlassung der notwendigen Fremdleistungen hinsichtlich Reparatur
· Durchführung der möglichen Eigenleistungen hinsichtlich Reparatur.

Nutzen respektiv Risikoverminderung

Der Nutzen der ergriffenen Objektschutzmassnahmen bemisst sich an der damit erreichbaren Risikoverminderung. Hierzu ist es notwendig, den durch die Massnahme verhinderten Sachschaden abzuschätzen.
Beispiel:
Mit Hilfe von Objektschutzmassnahmen werden Schäden an einem Gewerbebetrieb, verursacht durch häufige und seltene Überschwemmungsereignisse, verhindert.
Häufiges Ereignis (Wiederkehrperiode W_{30} = 1/30 = 0.033):
geschätzter Sachschaden S_{30} = Fr. 30'000.-
Seltenes Ereignis (Wiederkehrperiode W100 = 1/100 = 0.01):
geschätzter Sachschaden S_{100} = Fr. 150'000.-
Die Lebensdauer der Objektschutzmassnahmen wird berücksichtigt in Form eines Faktors P (vgl. Grafik). Dieser besagt, wie gross die Wahrscheinlichkeit des mindestens einmaligen Auftretens eines Ereignisses innerhalb der betrachteten Lebensdauer der Objektschutzmassnahme ist. Der jährliche Nutzen resp. die Risikoverminderung beträgt bei einer Lebensdauer der Objektschutzmassnahme von 30 Jahren: Nutzen = (S_{30} * $P_{30/30}$ * W_{30}) + (S_{100} * $P_{100/30}$ * W_{30}) = (30'000.– * 0.64 * 0.033) + (150'000.– * 0.26 * 0.033) = Fr. 1'921.–



Kosten

Aufwendungen bei Neubauten
Sehr viele effiziente Objektschutzmassnahmen bei Neubauten sind nicht mit Mehrkosten verbunden! Insbesondere Massnahmen der Kategorie «Konzeption» verursachen keine zusätzlichen Aufwendungen. Durch eine erhöhte Anordnung des Erdgeschosses in Überschwemmungsgebieten können das Sachwertrisiko und unter Umständen auch das Personenrisiko erheblich vermindert werden, ohne dass dadurch Baumehrkosten entstehen.
Baulich konstruktive Massnahmen, wie zum Beispiel eine angepasste Fundationsart in Rutschgebieten, können beim Neubau kostengünstig erstellt werden.

Aufwendungen bei bestehenden Bauten
Bei bestehenden Bauten bedarf es einer eigentlichen Evaluation der kostenwirksamen Objektschutzmassnahmen. Je nach Gebäudetyp, verwendeten Baumaterialien, Alter und Zustand der Baute gilt es die geeigneten Massnahmen zu evaluieren.
Die Wirksamkeit einer Einzelmassnahme hängt unter Umständen vom Zustand der Baute ab. Eine Abdichtung von Fenstern und Türen gegen Überschwemmungen ist zum Beispiel nur dann wirksam, wenn die Aussenhülle der Baute immer noch als massgeblich dicht vorausgesetzt werden kann.

Umrechnung der Investitionskosten in jährliche Kosten
Die Investitionskosten I für Objektschutzmassnahmen sind in jährliche Kosten umzurechnen, damit sie dem Nutzen (resp. der Risikoverminderung) gegenübergestellt werden können.

Je nach Lebensdauer der Massnahme und Zinssatz ergeben sich folgende Kapitalwiedergewinnungsfaktoren k:
Beispiel:
Investition I: Fr. 10'000.-, Lebensdauer 30 Jahre, Zinssatz 5%
Die jährlichen Kosten betragen:
(I ∗ k) = 10'000.– ∗ 0.06505 =
Fr. 651–

Kapitalwiedergewinnungsfaktoren k

Zinssatz %	**Lebensdauer**			
	10 Jahre	30 Jahre	50 Jahre	100 Jahre
3	0.11723	0.05102	0.03887	0.03165
5	0.12950	0.06505	0.05478	0.05038
6	0.13578	0.07265	0.06344	0.06018
8	0.14903	0.08883	0.08174	0.08004

Nutzen-Kosten-Verhältnis

Als Nutzen-Kosten-Verhältnis wird nun der jährliche Nutzen den jährlichen Kosten gegenübergestellt. Ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser als 1, so gilt die Investition als wirtschaftlich. Für das obige Beispiel erhält man: Nutzen / Kosten = 1'921.– / 651.– = 2.95

Dies bedeutet, dass sich die Objektschutzmassnahme aus rein wirtschaftlicher Sicht vollumfänglich rechtfertigt. Werden zudem Betriebsausfallkosten und schwer quantifizierbare Argumente (allgemeine Umtriebe, u.a.) in die Abwägung miteinbezogen, so wird der Nutzen dieser Investition noch grösser ausfallen.

Ausgewählte Literatur

Allgemein

SIA Norm 260 (2002): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA Norm 261 (2002): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA Norm 261/1 (2002): Einwirkung auf Tragwerke, ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA Norm 465 (1998): Sicherheit von Bauten und Anlagen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich

Lawinen

BFF (1984): Richtlinien zur Beurteilung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Forstwesen / Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, EDMZ, Bern

BFS (1994): Richtlinie Einwirkungen auf Lawinenschutzgalerien. Bundesamt für Strassenbau / Baudirektion GD SBB, EDMZ, Bern

BUWAL/WSL (1990): Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos

GVA Graubünden (1994): Vorschriften für bauliche Massnahmen an Bauten in der blauen Lawinenzone. Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons Graubünden

Leuenberger, F. (1989): Handbuch/Bauanleitungen – Temporärer Stützverbau und Gleitschneeschutz. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos

Salm, B et al. (1990): Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen, Mitteilung Nr. 47. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos

Hochwasser/Murgänge

Armanini, A., Scotton, P. (1992): Experimental Analysis on the Dynamic Impact of a Debris Flow on Structures. In: Internationales Symposium Interpraevent, Tagungsband Nr. 6, S. 107-116, Bern

BWW (1997): Empfehlungen Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft/Bundesamt für Raumplanung/Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, EDMZ, Bern

Böll, A. (1997): Wildbach- und Hangverbau. Bericht Nr. 343, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf

Egli, Th. (1996): Hochwasserschutz und Raumplanung. ORL-Bericht Nr. 100, vdf Hochschulverlag an der ETH, Zürich

FEMA (1986a): Floodproofing Non-Residential Structures. Publication No. 102, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

FEMA (1986b): Retrofitting Flood-prone Residential Structures. Publication No. 114, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

Kohli, A. (1998): Kolk an Gebäuden in Überschwemmungsebenen. Mitteilung Nr. 157, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich

Rickenmann, D. (1995): Beurteilung von Murgängen. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 48, Zürich

USACE (1992): Flood Proofing Regulations. US Army Corps of Engineers, Publication No. 1165-2-314, US Government Printing Office, Washington

Raumplanung/Baurechtliche Verfahren

Baudirektion und Gebäudeversicherung Kanton Zürich (2003): Leitfaden zur Umsetzung der Gefahrenkarten

Rutschungen

Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (1998): Geologische Naturgefahren in der Schweiz. Separatdruck aus: Bulletin für angewandte Geologie 3/1, ISSN 1420-6846

BUWAL (1997): Empfehlungen Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft / Bundesamt für Raumplanung / Bundesamt für Wasserwirtschaft, EDMZ Bern

Lang, H.-J. et al. (1996): Bodenmechanik und Grundbau. Das Verhalten von Böden und Fels und die wichtigsten grundbaulichen Konzepte, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin

Smoltczyk, U. [Hrsg.] (1990): Grundbau Taschenbuch. Teil 1, Grundlagen, Ernst und Sohn, Berlin

Smoltczyk, U. [Hrsg.] (1992): Grundbau Taschenbuch. Teil 3, Grundbauwerke, Ernst und Sohn, Berlin

Veder, Ch. (1979): Rutschungen und ihre Sanierung. Springer Verlag, Wien / New York

Steinschlag, Blockschlag

BFS (1998): Einwirkungen auf Steinschlagschutzgalerien. Bundesamt für Strassen / Baudirektion SBB, EDMZ Bern

BUWAL (1997): dito oben

CEB (1988): Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading. Synthesis Report, Comité Euro-International du Béton, Lausanne

Gerber, W. et al. (1995): Schutzmassnahmen gegen Steinschlag. FAN-Kurs 1995, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf

Heierli et al. (1985): Schutz gegen Steinschlag. Forschungsarbeit 21/83 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, 2. Auflage, Bundesamt für Strassenbau, Bern

Tissières, P. (1996): Résistance d'un mur d'habitation à l'impact d'un bloc. Bericht zuhanden: Service des routes et cours d'eau Géologue cantonal, unveröffentlicht, Martigny