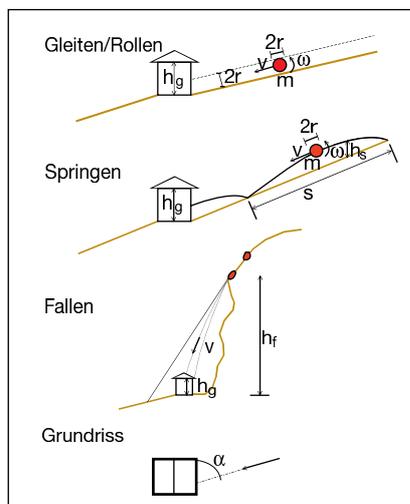




## 1 Bezeichnungen



2

3

$h_f$  [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

4

5

## Begriff der Sturzkomponente

6

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

7

## 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

$m$  [t] Masse der für die Bemessung massgebenden Sturzkomponente

$v$  [m/s] Geschwindigkeit der Sturzkomponente (Translationsgeschwindigkeit)

$\omega$  [1/s] Eigenrotation der Sturzkomponente (Rotationsgeschwindigkeit)

$I$  [t\*m<sup>2</sup>] Massenträgheitsmoment

$E_{trans}$  [kJ] Translationsenergie

$E_{rot}$  [kJ] Rotationsenergie

$E_{max}$  [kJ] maximal aufnehmbare Energie bei Stahlbetonwänden

$\alpha$  [°] horizontaler Ablenkwinkel der Flugbahn in Bezug auf das Objekt

$\varphi$  [°] innerer Reibungswinkel des Eindeckungsmaterialies

$M_E$  [kN/m<sup>2</sup>] statischer Zusammendrückungsmodul des Eindeckungsmaterialies

$a_s$  [mm<sup>2</sup>/m] Querschnitt der Bewehrung der Stahlbetonwand (in beiden Richtungen)

$A$  [m<sup>2</sup>] Fläche der einwirkenden Einzellast (Anprall)

$C_k$  [-] Konstruktionsbeiwert

$C_p$  [-] Beiwert der plastischen Deformation der Sturzkomponente

$g$  [m/s<sup>2</sup>] Erdbeschleunigung (10 m/s<sup>2</sup>)

$q_e$  [kN/m<sup>2</sup>] statischer Ersatzdruck der Einzellast (Anprall)

$Q_e$  [kN] statische Ersatzkraft der Einzellast (Anprall)

$R$  [kN] Durchstanz-Bruchkraft der Stahlbetonwand

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

(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

Translationsenergie $E_{trans}$	Zerstörungspotenzial	Energieaufnahmevermögen von Fangkonstruktionen
---------------------------------	----------------------	--

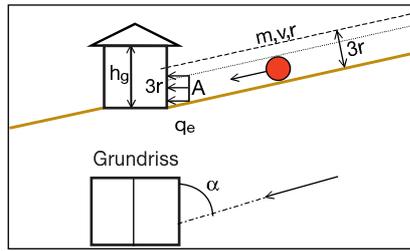
0 bis 10 kJ	Zerstörung von Holzschichtwänden	Stahlstützen mit Fichtenrundholz
10 bis 30 kJ	Zerstörung von Fichtenrundholzwänden	Stahlstützen mit Eichenholz Drahtgeflechte mit einfacher Torsion
30 bis 100 kJ	Zerstörung von Stahlbetonwänden der Dicke 0.2 bis 0.3 m	Einfache Drahtseilnetzverbauungen
100 bis 300 kJ	Zerstörung von Stahlbetonwänden der Dicke 0.4 bis 0.5 m	Verbesserte Drahtseilnetzverbauungen
300 bis 1000 kJ		Drahtseilringnetze mit Brems-elementen
1000 bis 3000 kJ		Spezielle Drahtseilringnetzkonstruktionen
über 3000 kJ		Erddämme

**Intensitätsparameter zur Bemessung**

Zur Bemessung von Objektschutzmassnahmen bedarf es Angaben zu *Bewegungsform, Sprunghöhe, Masse und Translationsgeschwindigkeit* der Sturzkomponenten. Als Alternative zu Masse und Translationsgeschwindigkeit können die zu erwartende *Translations- und Rotationsenergie* zur Bemessung verwendet werden.

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

1 Gefährdungsbild 1

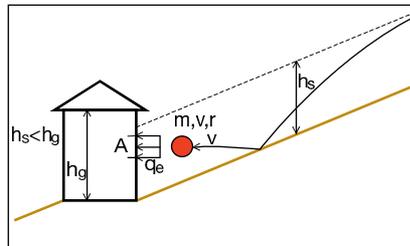


Sturzkomponenten rollen oder gleiten

Die Sturzkomponenten bewegen sich rollend oder gleitend auf die Baute zu. Beim Gleiten bildet sich die Bewegungsenergie allein aus der Translationsenergie, während-

dem 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  $\alpha$  ist zu eruieren, welche Wände von der Einwirkung betroffen sind.

3 Gefährdungsbild 2

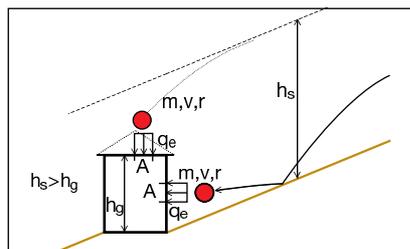


Sturzkomponenten springen bis Wandhöhe

Die Sturzkomponenten bewegen sich springend auf die Baute zu. Ihre Bewegungsenergie setzt sich aus Translations- und Rotationsenergie zusammen. Die Sprung-

höhe  $h_s$  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  $\alpha$  ist zu eruieren, welche Wände von der Einwirkung betroffen sind.

5 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  $\alpha$  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:

$$E_{Trans} = 0.5 * m * v^2 \quad [kJ]$$

*Translationsenergie*

Rollen:

Im Falle des Rollens auf geneigter Ebene wirkt neben der Translationsenergie auch die Rotationsenergie. Sie ist:

$$E_{Rot} = 0.5 * I * \omega^2 \quad [kJ]$$

*Rotationsenergie*

wobei  $I = 0.4 * m * r^2 \quad [t * m^2]$

*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.

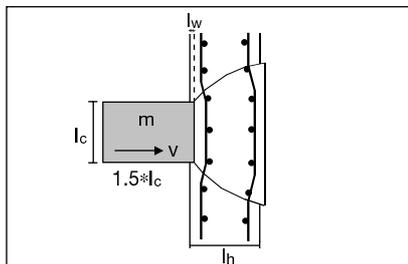
Fallen:

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:

$$v = (2 * g * h_f)^{0.5} \quad [m/s]$$

*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:

$$Q_e = (E_{trans} * C_k * C_p) / l_w = (0.5 * m * v^2 * C_k * C_p) / l_w \quad [kN]$$

*statische Ersatzkraft durch Anprall*

Der Konstruktionsbeiwert  $C_k$  berücksichtigt das Bruchverhalten und ist gemäss BFS 1998:

$$C_k = 0.4 \text{ bzw. } 0.6 \quad [-]$$

*duktiler Bruch (z.B. Biegebruch bewehrter Platten)*

$$C_k = 1.2 \quad [-]$$

*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

$1.5 \cdot l_c$  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):

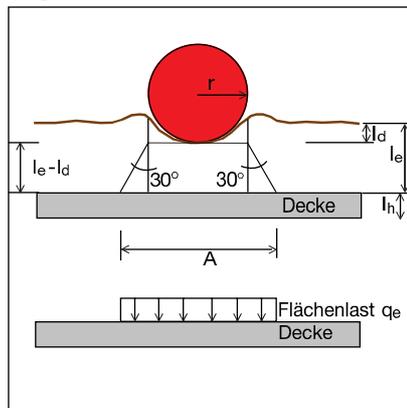
Querschnitt der Wandbewehrung $a_s$ [mm <sup>2</sup> /m]	Wanddicke $l_h$ [m]	Blockmasse $m$ [t]	Bruchkraft $R$ [kN]		max. aufnehmbare Energie $E_{max}$ [kJ]	
			innere Bewehrung	innere und äussere Bewehrung	innere Bewehrung	innere und äussere Bewehrung
393	0.2	0.1	780	1030	16	21
	0.2	0.5	1150	1590	23	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
1340	0.4	1.0	3550	4590	71	92
	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  $30^\circ$  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  
2  
3  
4  
5  
6  
7

### 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.

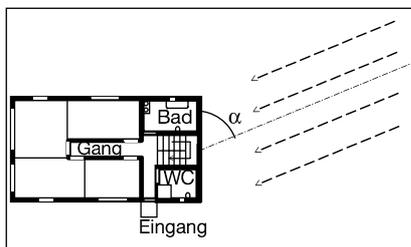
2

### 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. Tragende Scheiben und Platten sind einer Skelettbauweise 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 Steinschlagwirkung 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.

7

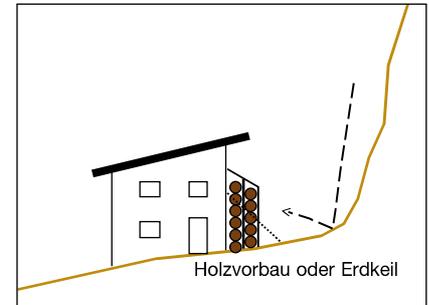
### Verschaltung von Wänden

#### Verschaltung:

Die Verschaltung 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



Bei geringen Sturzenergien kann eine Stückholzbeige die stossdämpfende Massnahme zum Schutz der Wände bilden.

### 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

1

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  $2.0 \text{ N/mm}^2$ . Bei Stein- und Blockschlageinwirkung sind zur Verhinderung des Durchstanzens entsprechend kleine Lamellenabstände erforderlich. Bei beiden Verstärkungsarten hat das gute Aufrauhern der Betonoberfläche wesentliche Bedeutung.

2

3

### 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.

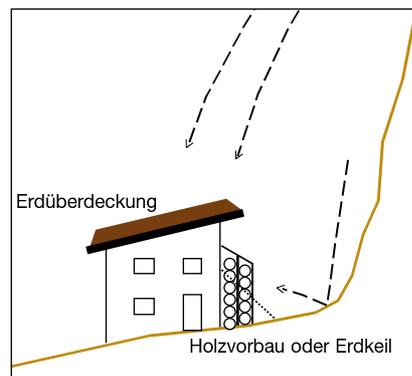
4

### Verstärkung / Überschüttung des Daches

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

Die Bemessung kann nach denselben Kriterien vorgenommen werden, wie sie speziell für Steinschlagschutzgalerien entwickelt wurden (vgl. BFS 1998).

5



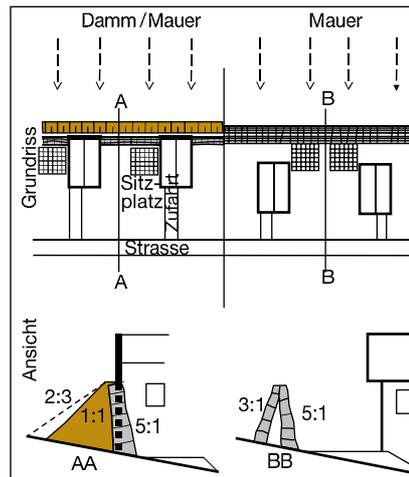
6

7

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 3000 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

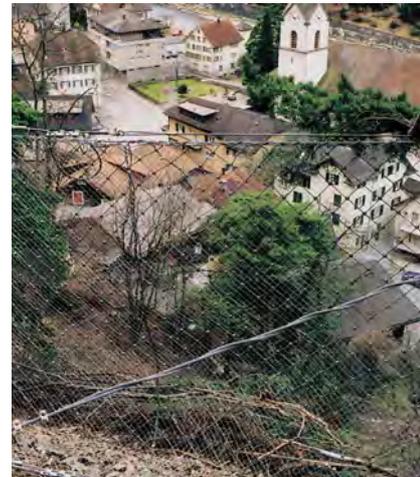


Im Bereich der Drahtseilnetzverbauungen hat in den letzten 15 Jahren eine eigentliche Innovation stattgefunden. Bis Mitte der Achziger Jahre konnten Energien bis rund 200 kJ aufgenommen werden.

Diese Grenze der Gebrauchslast konnte nun mit Hilfe neuerer Konstruktionen (Drahtseilringnetze) auf 3000 kJ angehoben werden. Die Bemessung der Schutznetze erfolgt mit einer Typenprüfung gemäss der vom BUWAL im Jahr 2001 herausgegebenen Richtlinie (BUWAL 2001). Die Prüfung umfasst Netze, die in 9 Energieklassen von 100 – 5000 kJ eingeteilt werden. Zur Bemessung der Fundation und Verankerungen werden die bei der Prüfung

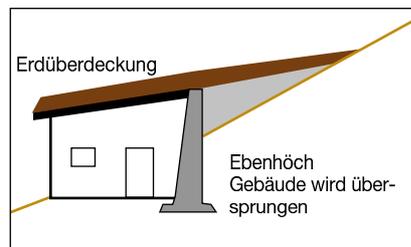
1

gemessenen maximalen Kräfte mit einem Zuschlag von 30% erhöht und diese Ersatzlast wird als charakteristischer Wert  $F_k$  gemäss Norm SIA 260 Ziffer 3.2.2.2 in die Berechnungen eingeführt.



2

3 **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 ersetz-

baren Leichtaufbaus). Die statische Belastung ist mit derjenigen von erdüberdeckten Dächern zu vergleichen.

Diese Massnahme kann nur für alleinstehende Einzelbauten mit eingeschränkter 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.

4

5 **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, Spritzbeton mit Ankern oder Nägeln notwendig.



### b) Steinschlaggeflechte

Durch Geflechte werden einzelne, sich ablösende Steine aufgefangen, am Springen gehindert und kontrolliert nach unten zum Böschungsfuss geführt.

7

6

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 unterschrittene 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 267 (Geotechnik) 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.

### f) Felsreinigung

Unter der Felsreinigung versteht man das Entfernen von absturzgefährdeten Steinen und Blöcken. Die Wirkungsdauer dieser Massnahme ist in der Regel beschränkt, da die Verwitterung weiter einwirkt. Das Reinigen verlangt ein gebirgsschonendes Vorgehen. Dieser Forderung wird oft nur der Handabtrag gerecht. Während der Durchführung der periodischen Reinigungsarbeiten sind temporäre Schutzmassnahmen im betroffenen Sturzgebiet anzuordnen.

1 Massnahmenkombinationen

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.

2

3

4

5

6

7

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

Massnahmenkombination 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.

Massnahmenkombinationen 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.

Massnahmenkombination D

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

Massnahmenkombinationen E und F

Dieselben Vorkehrungen wie bei Kombination 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.

Massnahmenkombination 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.

Massnahmenkombination 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.

Massnahmenkombination 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.

1

**Massnahmenkombinationen 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.

2

**Massnahmenkombination 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.

3

**Massnahmenkombinationen 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.

4

**Massnahmenkombinationen 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.

5

**Massnahmenkombination 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.

6

7

---

## Impressum

Alle Rechte vorbehalten  
© 2005  
Vereinigung Kantonaler Feuerver-  
sicherungen VKF  
Bundesgasse 20  
CH-3001 Bern  
Fon: 031 320 22 11  
Fax: 031 320 22 99  
<http://www.vkf.ch>



Autor:  
Dr. Thomas Egli  
Egli Engineering  
Lerchenfeldstrasse 5  
CH-9014 St. Gallen  
<http://www.naturgefahr.ch>



**Egli Engineering**

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

Dank:  
Der Autor dankt folgenden Perso-  
nen 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  
Dr. Armin Petrascheck  
Bundesamt für Wasser und  
Geologie, Biel  
Stefan Margreth, Eidg. Institut für  
Schnee- und Lawinenforschung,  
Davos  
Werner Gerber, Eidg. Forschungs-  
anstalt für Wald, Schnee und Land-  
schaft, Birmensdorf

Prof. Dr. Dieter Rickenmann, Uni-  
versität für Bodenkultur, Wien

Grafik:  
wk st.gallen  
michael niederer / rosmarie winkler/  
remo gamper

Bildnachweis:  
Egli Engineering, St. Gallen  
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  
Geo 7 AG, Bern  
Kellerhals & Haefeli AG, Bern  
Neo Vac AG, Oberriet  
Uretek, Giswil  
BWG, Biel  
GVB, Bern  
Fatzer AG, Romanshorn  
Service des forêts et de la faune,  
Givisiez  
Kessel GmbH, Lenting (D)

Zitiervorschlag:  
EGLI Thomas, Wegleitung Objekt-  
schutz gegen gravitative Natur-  
gefahren, Vereinigung Kantonaler  
Feuerversicherungen (Hrsg.),  
Bern, 2005.

ISBN Nr.: 3-033-00469-5  
ISBN Nr.: 3-033-00470-9  
(Französisch)