



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

In Zusammenarbeit mit
SBB AG Infrastruktur
Ingenieurbau

Richtlinie

Ausgabe 2008 V2.03

Einwirkungen infolge Steinschlags auf Schutzgalerien

ASTRA 12 006

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Impressum

Autore(n)/Arbeitsgruppe

Donzel M. (ASTRA, Vorsitz bis 31.12.2004)
Schuler W. (ASTRA, Vorsitz ab 01.01.2005)
Frey R.P. (Ingenieurbüro)
Jacquemoud J. (Ingenieurbüro)
Lang T.P. (SBB AG, Infrastruktur)
Montani S. (Ingenieurbüro)

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze
Standards, Forschung, Sicherheit
3003 Bern

SBB AG Infrastruktur
Ingenieurbau
Schanzenstrasse 5
3000 Bern 65

Bezugsquelle

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3000 Bern, www.bbl.ch
Art.-Nr.: 806.317.d

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch herunter geladen werden.

Preis (gedruckte Version)

CHF 30.-

© ASTRA 2008

Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Die vorliegende Richtlinie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strassen und der Division Infrastruktur der SBB AG mit dem Ziel verfasst, die Bauwerksnormen SIA 261 [2003] ff zum Thema Steinschlageinwirkungen zu ergänzen.

Die Revision wurde von einer Arbeitsgruppe, bestehend aus Experten und Vertretern des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) und der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) erarbeitet. Im revidierten Dokument fanden gleichzeitig die gesicherten Ergebnisse der neuesten Forschungsarbeiten auf dem Gebiet Eingang.

Die Richtlinie ersetzt die ursprüngliche Ausgabe „Einwirkungen auf Steinschlagschutzgalerien“ aus dem Jahre 1998 und wird mit ihrem Erscheinen verbindlich.

Bundesamt für Strassen

Dr. Rudolf Dieterle
Direktor

SBB AG, Infrastruktur

Hansjörg Hess
Mitglied der Geschäftsleitung
Leiter Infrastruktur

Vorwort der Erstausgabe von 1998

Die vorliegende Richtlinie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strassen und der Baudirektion SBB im Anschluss an die Richtlinie „Einwirkungen auf Lawinenschutzgalerien“ [1994] mit dem Ziel verfasst, die Norm SIA 160 [1989] zum Thema Steinschlageinwirkungen zu ergänzen. Die Richtlinie entspricht dem Geist der Norm SIA 160. Sie wird Bestandteil der gemeinsamen Dokumentation 'Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen' der beiden genannten Auftraggeber.

Die Richtlinie wurde von einer Arbeitsgruppe, bestehend aus Experten sowie Vertretern der Kantone, des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) und den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) erarbeitet. Einige der Beteiligten waren Mitglieder der Kommission SIA 160.

Die Richtlinie wird mit ihrem Erscheinen verbindlich.

BUNDESAMT FUER STRASSEN
Der Chef der Abteilung
Technische Fachkompetenz

BAUDIREKTION SBB
Der Direktor

M. Pigois

Dr. P. Winter

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort.....	3
	Vorwort der Erstausgabe von 1998.....	4
1	Einleitung	7
1.1	Zweck der Richtlinie	7
1.2	Geltungsbereich	7
1.3	Inkrafttreten und Änderungen	7
2	Verständigung	8
2.1	Begriffe	8
2.1.1	Steinschlagschutzgalerie	8
2.1.2	Steinschlag	8
2.1.3	Steinschlagbereich	8
2.1.4	Eindeckung	8
2.1.5	Gesteinsablagerungen	8
2.1.6	Steinschlageinwirkung	8
2.1.7	Schnittstelle	8
2.1.8	Weitere Nutzungen	9
2.2	Bezeichnungen, Masseinheiten	10
3	Grundsätze.....	11
4	Hinweise zur Projektierung	12
5	Gefährdungsbild	13
5.1	Allgemeines.....	13
5.2	Bemessungssituation Steinschlag	13
6	Ermittlung der Einwirkung	15
7	Nachweis der Tragsicherheit	18
8	Hinweise zum Projektierungsablauf	19
8.1	Bauherr.....	19
8.2	Steinschlagexperte.....	19
8.3	Projektverfasser	19
	Literaturverzeichnis	20
	Auflistung der Änderungen.....	21

1 Einleitung

1.1 Zweck der Richtlinie

Die Richtlinie ergänzt die Norm SIA 261 bzw. 261/1 in Bezug auf Steinschlageinwirkungen. Sie legt das Vorgehen zur Bestimmung der Bemessungskräfte infolge Steinschlag-einwirkungen fest und vermittelt einheitliche Projektierungsgrundlagen.

Ferner bestimmt sie die Aufgabenteilung der am Projekt Beteiligten.

Ereignisse wie die Rutschungen, Murgänge und Lawinen werden in der Richtlinie nicht behandelt.

1.2 Geltungsbereich

Diese Richtlinie ist verbindlich für die Bestimmung der Einwirkungen aus Steinschlagereignissen auf Schutzgalerien:

- der Bahnlinien der SBB;
- der vom Bund mitfinanzierten Schutzgalerien für Strassen.

Die Richtlinie gilt für die Planung und Erstellung von Neubauten. Bei der Massnahmenplanung im Rahmen der Erhaltung gelten die Grundsätze dieser Richtlinie sinngemäss.

1.3 Inkrafttreten und Änderungen

Die vorliegende Richtlinie „*Einwirkungen infolge Steinschlags auf Schutzgalerien (Ausgabe 2008)*“ tritt am 01.01.2008 in Kraft, die „*Auflistung der Änderungen*“ ist auf Seite 21 zu finden.

2 Verständigung

2.1 Begriffe

2.1.1 Steinschlagschutzgalerie

Sie wird als baulicher Steinschlagschutz für Strasse und Bahn eingesetzt. Die Einzelblöcke und Geröllmassen werden über die Galerie hinweggeleitet oder durch die Galeriedecke aufgefangen, ohne den Verkehr zu beeinträchtigen.

2.1.2 Steinschlag

Unter Steinschlag versteht man in dieser Richtlinie sowohl Stein- als auch Blockschlag. Darunter versteht man das Fallen, Springen und Rollen von einzelnen Steinen ($\emptyset < 50 \text{ cm}$) und Blöcken ($\emptyset > 50 \text{ cm}$).

2.1.3 Steinschlagbereich

Als Steinschlagbereich wird derjenige Bereich bezeichnet, der durch Steinschlag betroffen werden kann.

2.1.4 Eindeckung

Als Eindeckung bezeichnet man das auf der Galeriedecke aufgebraute Eindeckungsma-
terial. Es dient als Schutz der Galeriedecke und als Dämpfungselement beim Stein-
schlag.

2.1.5 Gesteinsablagerungen

Gesteinsablagerungen sind die Gesteins- und Geröllmassen, welche nach einem oder mehreren Ereignissen im Laufe der Zeit auf der Galerie liegen bleiben.

2.1.6 Steinschlageinwirkung

Die Steinschlageinwirkung wird gemäss Norm SIA 261 resp. 261/1 als aussergewöhnliche Einwirkung behandelt.

Es ist eine Einwirkung mit geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, in der Regel von kurzer Dauer und beträchtlicher Wirkung.

2.1.7 Schnittstelle

An der Schnittstelle, der Oberfläche der Galerieeindeckung, werden die Ausgangsgrößen bestimmt.

Die für die Bestimmung der Steinschlageinwirkung massgebenden Ausgangsgrößen, die Masse m , die Geschwindigkeit v und der Einfallswinkel α sind in Abb. 2.2 dargestellt.

2.1.8 Weitere Nutzungen

Weitere Nutzungen sind z.B. Deponien oder Nutzlasten aus Verkehr auf Galeriedächern. Sie sind mit dem Bauherrn in der Nutzungsvereinbarung festzuhalten.

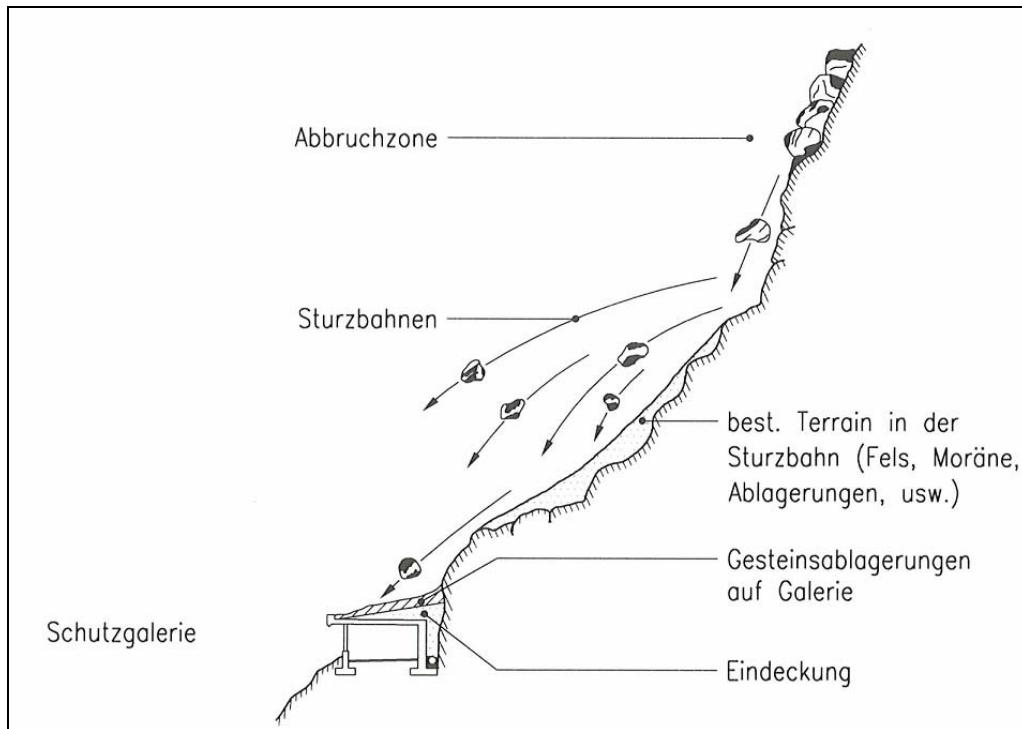


Abb. 2.1 Allgemeine Bezeichnungen.

2.2 Bezeichnungen, Masseinheiten

a	[m]	Mächtigkeit der Gesteinsablagerungen
t	[m]	Eindringtiefe
d	[m]	Durchmesser der Einwirkungsfläche der Flächenlast q auf der Decke
e	[m]	Dicke der Eindeckung am Aufprallort
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung (10 m/s ²)
m	[t]	Masse des Steinblocks
r	[m]	Radius der Ersatzkugel mit gleichem Volumen und gleicher Masse wie der Steinblock
s	[m]	Mächtigkeit des natürlich abgelagerten Schnees bzw. von abgelagertem Lawinenschnee
v	[m/s]	Aufprallgeschwindigkeit
x		Horizontalachse des Koordinatensystems
z		Vertikalachse des Koordinatensystems
α	[°]	Neigungswinkel der Flugbahntrajektorie am Aufprallort
β	[°]	Neigungswinkel der Eindeckungsoberfläche
δ	[°]	Neigungswinkel der Galeriedecke
\varnothing_{max}	[m]	Maximaler Korndurchmesser des Eindeckungsmaterials
F	[kN]	Kraft am Aufprallort
φ	[°]	Reibungswinkel des Eindeckungsmaterials
M_E	[kN/m ²]	Statischer M_E - Modul des Eindeckungsmaterials

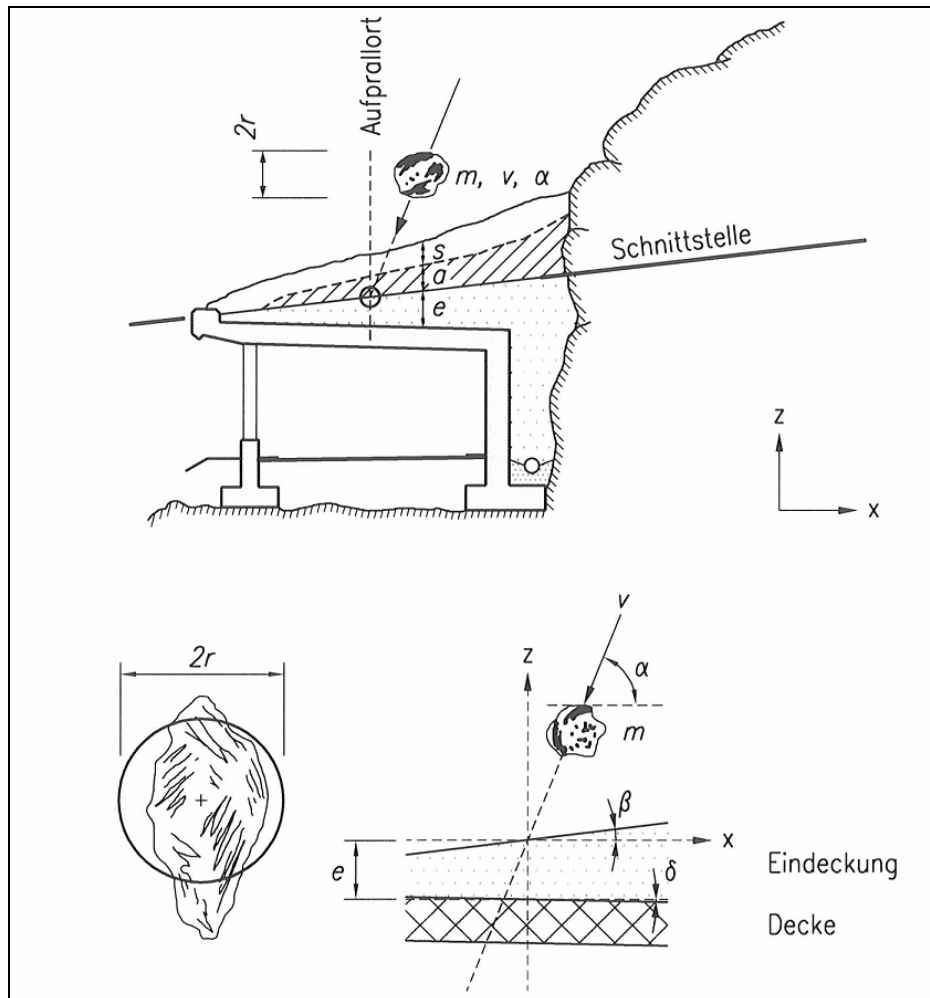


Abb. 2.2 Bezeichnungen.

3 Grundsätze

3.1 Für jedes Bauwerk bzw. jeden einzelnen Bauwerksabschnitt sind die Sturzbahnen und die Ausgangsgrössen an der Schnittstelle (Oberkante der Galerieeindeckung) zu bestimmen.

3.2 Der Steinschlag ist eine aus einer Naturgefahr resultierende Einwirkung infolge von Anprall. Sie wird als aussergewöhnliche Einwirkung behandelt (SIA 261/1, Ziff. 7.1). Der Bemessungswert der Auswirkung ist gemäss Norm SIA 260 zu ermitteln.

Die Masse des für die Berechnung massgebenden Gesteinsblocks, die Aufprallgeschwindigkeit und der Neigungswinkel der Flugbahntrajektorie sind als charakteristische Werte m_k , v_k und α_k zu bestimmen.

3.3 Der Bauherr legt die Schutzziele, die Nutzung und das massgebende Szenario fest. Er passt sie allenfalls aufgrund des vom Projektverfasser bestimmten Galeriekonzeptes an die technisch und wirtschaftlich verfügbaren Mittel an. Er ist für die Beschaffung der erforderlichen Unterlagen besorgt.

Der Geologe und weitere Sachverständige beraten den Bauherrn bezüglich der generellen Gefahrensituationen infolge von Steinschlagniedergängen im Bereich der Galerie und bestimmen die Szenarien mit den entsprechenden Ausgangsgrössen.

3.4 Der Projektverfasser bestimmt die Einwirkung auf Grund der Ausgangsgrössen und der geometrischen Verhältnisse auf der Galerie.

4 Hinweise zur Projektierung

- 4.1 Die Galerie und ihre Eindeckung sind so anzulegen, dass sich der Standort der Galerie und die Neigung der Galerieeindeckung möglichst günstig auswirken.

Die Auswirkung der Schutzgalerie auf die Gefährdung von untenliegenden Wohngebieten und Verkehrsträgern ist umfassend abzuklären.

Hinweise zur Planung von Galeriebauwerken und anderen Schutzsystemen finden sich in der Dokumentation [1].

- 4.2 Bei Galerien im Auslaufgebiet von Steinschlag-Sturzbahnen ist je nach Gegebenheiten mit grossen Ablagerungen zu rechnen. Die Räumung der Ablagerungen hat gemäss Nutzungsvereinbarung zu erfolgen.

- 4.3 Exponierte, dem Steinschlag direkt ausgesetzte Bauteile mit Tragfunktion sind zu vermeiden.

- 4.4 Die Eindeckung dient der Dämpfung des Stosses und der Verminderung der Beanspruchung des Bauwerkes. Damit kann die Gefahr von Durchschlägen und lokalen Abplatzungen an der Untersicht der Galeriedecke vermindert werden. Die Wahl der Dicke der Eindeckung ist abhängig von der Masse des Gesteinsblockes und dessen Geschwindigkeit sowie vom verwendeten Eindeckungsmaterial. Dieses und dessen Dicke sind frühzeitig (Entwurfsphase) in Absprache mit dem Bauherrn festzulegen und in der Projektbasis festzuhalten.

Den Veränderungen der Eigenschaften des Eindeckungsmaterials infolge alterungsbedingter Einflüsse (Verdichtung, Konsolidation) ist Rechnung zu tragen. Für die Eindeckung des Galeriedaches ist kohäsionsarmes Material zu verwenden.

- 4.5 Eine monolithische Bauweise und duktiler Charakter des Bauwerks im Bruchzustand sind anzustreben. Insbesondere erhöht eine Schubbewehrung die Duktilität der Galeriedecke.

- 4.6 Beim Bau von Steinschlagschutzgalerien ist auch den Sicherheitsmassnahmen während der Ausführung die nötige Aufmerksamkeit zu schenken (Baustelle, Verkehrsstauraum).

- 4.7 Beim Entwurf der Galerie ist zu berücksichtigen, dass infolge der Steinschlageinwirkung auch negative Auflagerkräfte und Feldmomente sowie positive Stützenmomente auftreten können. Diese können in der Grössenordnung von 50% der Schnittkräfte und Reaktionen liegen, welche unter Verwendung der Ersatzlasten dieser Richtlinie ermittelt werden.

5 Gefährdungsbild

5.1 Allgemeines

Steinschlag tritt sowohl in Form von Einzelblöcken als auch in Form abstürzender Gesteinsmassen auf, wobei z.B. einzelne grössere Blöcke von mehr oder weniger vielen kleineren Blöcken und Gesteinsmassen begleitet sein können (Abb. 5.1). In dieser Gesteinsmasse wird der massgebende Einzelblock als dynamische Einwirkung erfasst.

Die den Steinschlag begleitenden Gesteinsmassen werden als statische Einwirkung betrachtet und als Flächenlast behandelt. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass nicht alle Gesteinsblöcke gleichzeitig auf der Galerieeindeckung auftreffen.

Form, Lage und Ausbreitung dieser Gesteinsmassen und die in Rechnung zu stellenden Gesteins- und Schneeablagerungen sowie allfällige weitere Nutzungen auf der Galerie- decke sind mit dem Bauherrn zu vereinbaren und in der Nutzungsvereinbarung festzuhalten. Desgleichen ist auch die Grösse des massgebenden Einzelblockes und dessen Aufprallgeschwindigkeit festzulegen.

5.2 Bemessungssituation Steinschlag

Im Folgenden wird die aussergewöhnliche Bemessungssituation für die Einwirkung Steinschlag dargestellt.

Die Einwirkung ermittelt sich aus der Masse m_k und der Aufprallgeschwindigkeit v_k des bewegten Einzelblockes. Sie kann in eine vertikale ($m_k, v_{z,k}$) und horizontale ($m_k, v_{x,k}$) Komponente aufgeteilt werden. Die Einwirkung kann auch schräg zur Längsachse der Galerie- decke auftreten und ist an den massgebenden Stellen zu berücksichtigen.

Die Reduktionsbeiwerte ψ_2 gemäss SIA 260, Art. 4.4.3.5 für Gesteins- und Schneeablagerungen, sind für Galerien zu null anzunehmen.

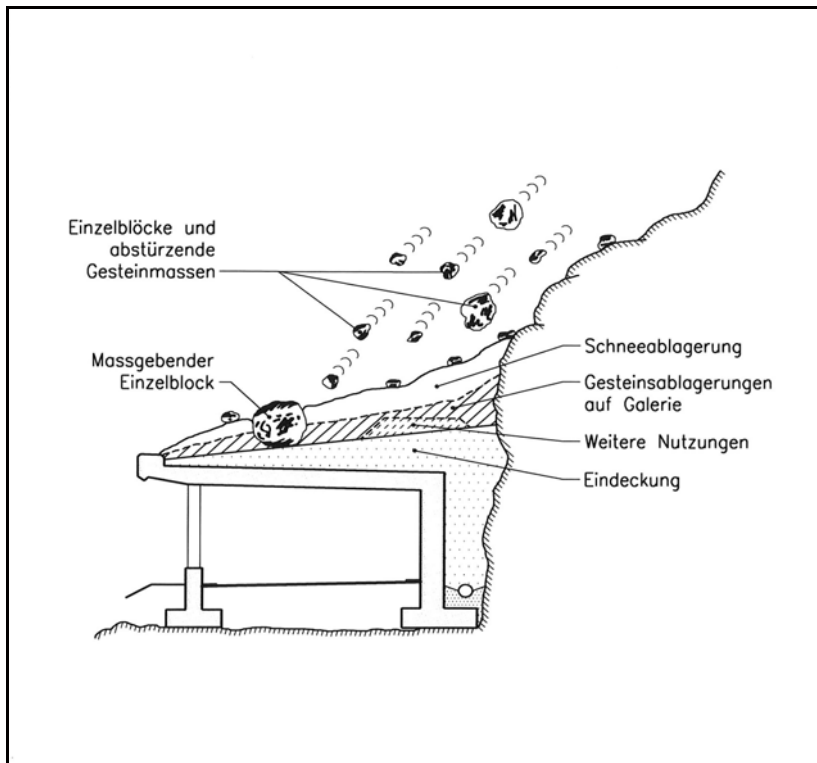


Abb. 5.1 Mögliche Einwirkungen.

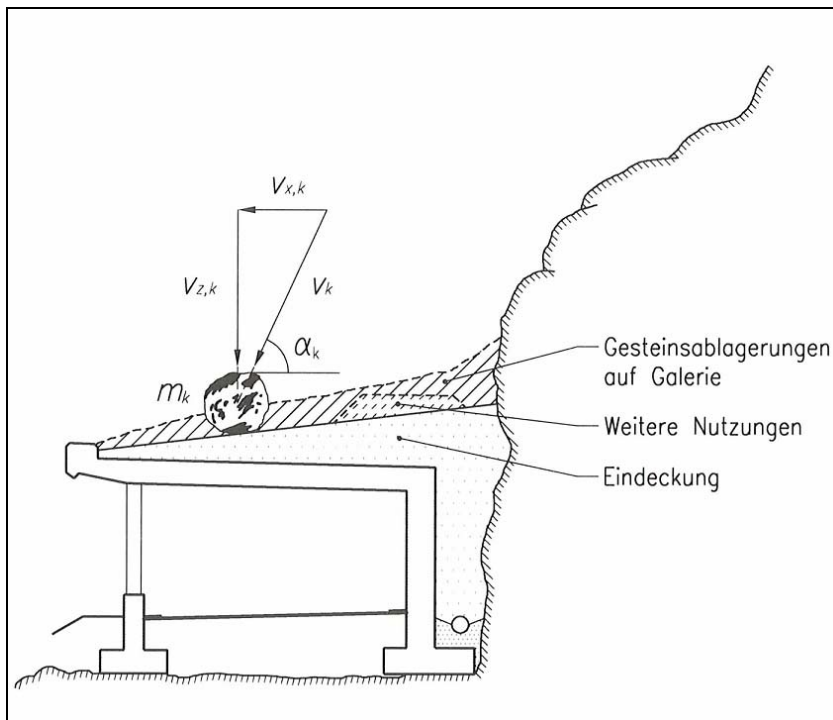


Abb. 5.2 Aussergewöhnliche Bemessungssituation, Einzelblock als Einwirkung.

6 Ermittlung der Einwirkung

- 6.1 Die dynamische Einwirkung F_k des Steinschlages wird mit dem Bemessungswert einer statischen Ersatzkraft A_d berücksichtigt, welche mit Hilfe eines Konstruktionsbeiwertes C ermittelt wird.

In der dynamischen Einwirkung F_k sind die geometrischen und geotechnischen Eigenschaften des Eindeckungsmaterials unter dynamischer Beanspruchung sowie die Aufprallgeschwindigkeit, die Masse und die Form des Gesteinsblockes enthalten ($m_k, v_k, e, M_{E,k}, \varphi_k$) [2, 3].

- 6.2 Die dynamische Einwirkung F_k wird durch die Wirkung eines Ersatzkörpers mit der Masse m_k des massgebenden Felsblockes beschrieben, der in der Nutzungsvereinbarung festgehalten ist. Die Form des Ersatzkörpers ist eine Kugel mit Radius r . Die Lastverteilung infolge der Eindeckung wird unter der Annahme eines Ausbreitwinkels von 30° angenommen (Abb. 6.1). Die für die Bemessung zu verwendende Flächenlast q_d wird auf der Einwirkungsfläche als gleichmässig verteilt eingeführt.

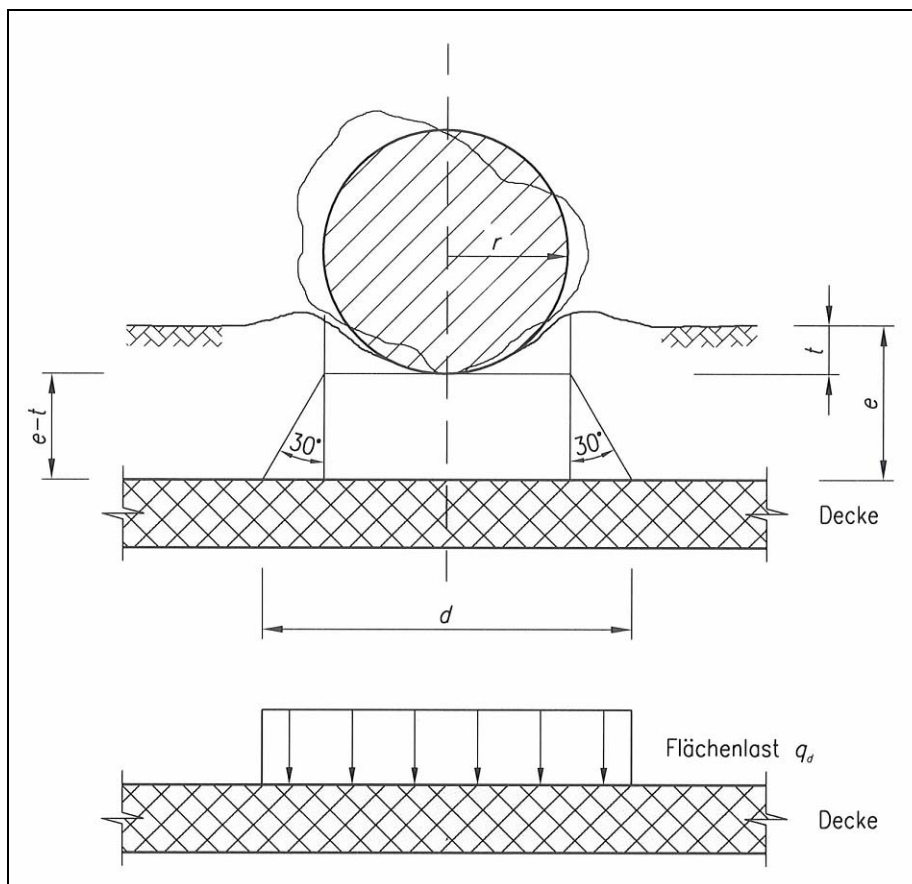


Abb. 6.1 Ausbreitung der Ersatzkraft A_d .

- 6.3 Der schiefe Aufprall (Abb. 6.2) kann näherungsweise wie folgt behandelt werden:
- Die lotrechte Kraft $F_{z,k}$ wird mit der lotrechten Komponente der Aufprallgeschwindigkeit gemäss Ziff. 6.7 ermittelt.
 - Die horizontale Kraft $F_{x,k}$ ergibt sich zu $F_{x,k} = F_{z,k} \cdot \cot \alpha_k$, wobei der obere Grenzwert durch die Scherfestigkeit des Eindeckungsmaterials gegeben ist.

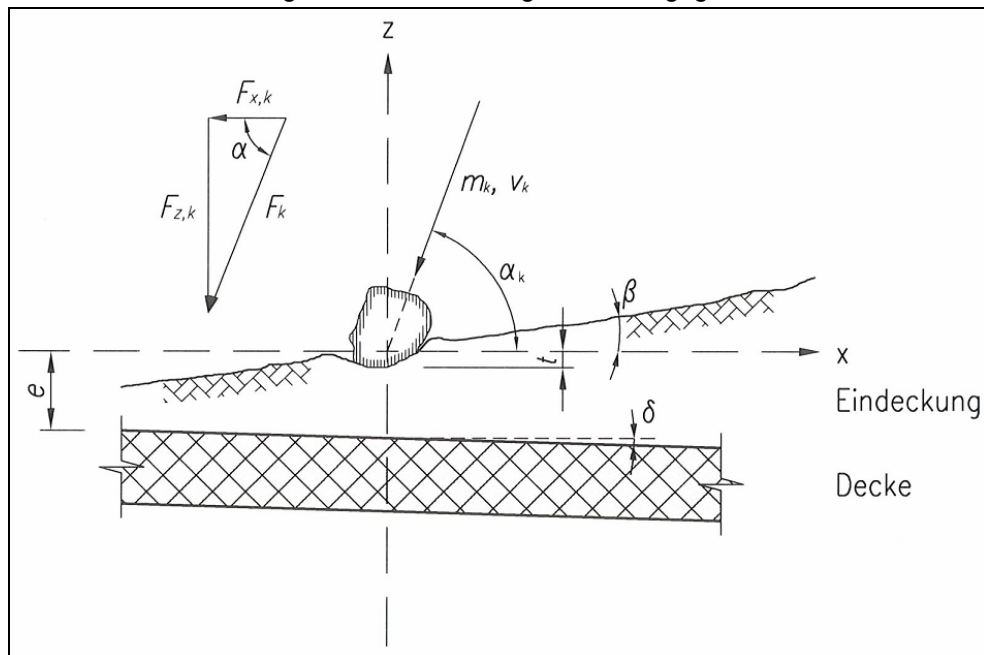


Abb. 6.2 Schiefer Aufprall.

- 6.4 Die erforderliche minimale Dicke der Eindeckung wird wie folgt festgelegt:
- $$e \geq 0,5 \text{ m}$$
- $$e \geq t + 3 \cdot \varnothing_{max}$$
- $$e \geq 2 \cdot t$$

wobei:

- t [m] Eindringtiefe gem. Ziffer 6.7
 \varnothing_{max} [m] max. Korndurchmesser des Eindeckungsmaterials

- 6.5 Hinweise zum Eindeckungsmaterial und zu den M_E -Werten:
 Es sind die statischen $M_{E,k}$ -Werte gemäss Norm SN 640317b (Dimensionierung Untergrund und Unterbau) und SN 670317b (Plattendruckversuch E_V und M_E) zu verwenden. Sie sollten an der Materialentnahmestelle und vor der Bemessung der Galerie ermittelt werden. Wird der M_E -Wert am frisch aufgetragenen Eindeckungsmaterial bestimmt, ist zu berücksichtigen, dass sich dieser infolge der natürlichen Verdichtung des Materials im Laufe der Zeit erhöhen kann und die Ersatzkraft bedeutend beeinflusst.
- 6.6 Weitere Einwirkungen sind gemäss Normen SIA 260 und 261 zu berücksichtigen und in der Nutzungsvereinbarung festzuhalten.

6.7 Die Kraft F_k und die Eindringtiefe t werden wie folgt ermittelt:

$$F_k = 2,8 \cdot e^{-0,5} \cdot r^{0,7} \cdot M_{E,k}^{0,4} \cdot \tan \varphi_k \cdot \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{2} \right)^{0,6}$$

$$t = \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{F_k} \right)$$

wobei:

t	[m]	Eindringtiefe
F_k	[kN]	charakt. Wert der Kraft am Aufprallort
m_k	[t]	charakt. Wert der Masse des Steinblocks
r	[m]	Radius der Ersatzkugel
v_k	[m/s]	charakt. Wert der Aufprallgeschwindigkeit
e	[m]	Schichtstärke der Eindeckung
$M_{E,k}$	[kN/m ²]	charakt. Wert des statischen M_E -Moduls des Eindeckungsmaterials
φ_k	[°]	charakt. Wert des Reibungswinkels des Eindeckungsmaterials

7 Nachweis der Tragsicherheit

Der Bemessungswert A_d der Ersatzkraft bestimmt sich durch Multiplikation der dynamischen Einwirkung F_k mit dem Konstruktionsbeiwert C :

$$A_d = C \cdot F_k$$

Die zu verwendenden Konstruktionsbeiwerte C hängen vom Bruchverhalten ab. Sie sind der Tabelle 7.1 zu entnehmen.

Abb. 7.1 Konstruktionsbeiwerte C

Bruchverhalten	Konstruktionsbeiwert C
<i>Duktil</i> (Biegebruch bewehrter Platten- und Balkenelemente, Schubversagen und Durchstanzen mit Schubbewehrung)	0,4
<i>Spröd</i> (Schubversagen und Durchstanzen ohne Schubbewehrung)	1,2

Auf der Widerstandsseite sind die Bemessungswerte, welche für statische Belastungen gelten, zu verwenden. Die Erhöhung der Bemessungswerte für die Bemessungssituation Anprall ist in C berücksichtigt. Die Ziffern 4.2.1.4 und 4.2.2.3 in der Norm SIA 262 sind somit nicht anzuwenden.

Für das duktile Bruchverhalten basiert der Wert C auf einem Plastifizierungsgrad von 10,0. Für die Bestimmung des C - Wertes für den Spröbruch wurde ein Plastifizierungsgrad von 1,0 angenommen.

Bei Galerien, die sowohl dem Steinschlag- als auch dem Lawinenschutz dienen, können diese beiden Einwirkungen unabhängig behandelt werden.

8 Hinweise zum Projektierungsablauf

8.1 Bauherr

Der Bauherr definiert die Schutzziele.

8.2 Steinschlagexperte

Der Steinschlagexperte bestimmt die generellen Gefahrensituationen infolge Steinschlag im Bereiche der Galerie und bestimmt die Grössen:

m_k, v_k, α_k .

Er benötigt dazu folgende Unterlagen:

- Situation 1:10'000 / 1:5000;
- Strassen-, Bahn-, Galerie- und Geländegeometrie;
- Steinschlagkataster, Steinschlagprotokolle;
- Geologische Felsaufnahmen (Schichtung, Kluftsysteme).

8.3 Projektverfasser

Der Projektverfasser:

- berechnet die Einwirkungen des Steinschlagereignisses auf die Galerie aufgrund der Angaben des Steinschlagexperten;
- ergänzt die Gefährdungsbilder mit den übrigen Einwirkungen;
- bestimmt die definitive Galerie- und Geländegeometrie;
- führt die Bemessung auf Tragsicherheit durch und weist die Gebrauchstauglichkeit nach.

Literaturverzeichnis

-
- [1] ASTRA/SBB (1998), „**Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen**“, BBL, Verkauf Bundespublikationen, 3000 Bern, Art.-Nr. 308.324.d, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen, download: www.astra.admin.ch.
-
- [2] Montani S., Descoedres F.(1996), « **Étude expérimentale de la chute de blocs impactant une dalle de béton armé recouverte par des matériaux amortissants** », EPFL, mandat 98/92 publ. OFT n° 524.
-
- [3] Montani S.(1998), « **Sollicitation dynamique de la couverture des galeries de protection lors de chutes de blocs** », thèse EPFL, n° 1899.
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
1998	1.00	1998	Inkrafttreten Ausgabe 1998.
2008	2.00	01.01.2008	Anpassungen an Norm SIA 261.
2008	2.01	30.01.2008	Formelle Anpassungen.
2008	2.02	16.07.2008	Ziffer 6.4: zweite Gleichung, richtig ist $e \geq t + 3 \cdot \varnothing_{max}$.
2008	2.03	03.09.2008	Ziffer 6.5: Anpassung an die Normen SN 640317b und SN 670317b.

