

Ersetzt Empfehlung SIA V 178, Ausgabe 1996

Maçonneries en pierre naturelle
Muratura in pietra naturale
Natural stone masonry

Natursteinmauerwerk

266/2

Referenznummer
SN 505266/2:2012 de

Gültig ab: 2012-01-01

Herausgeber
Schweizerischer Ingenieur-
und Architektenverein
Postfach, CH-8027 Zürich

Allfällige Korrekturen und Kommentare zur vorliegenden Publikation sind zu finden unter www.sia.ch/korrigenda.
Der SIA haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können.

2012-01 1. Auflage

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite		Seite
Vorwort	4	Anhang	
0 Geltungsbereich	5	A Arten des Mauerwerksverbands	
0.1 Abgrenzung	5	(informativ)	44
0.2 Allgemeine Bedingungen Bau	5	B Steinbearbeitungen (informativ)	47
0.3 Normative Verweisungen	5	C Eigenschaften der wichtigsten lieferbaren Naturmauersteine der Schweiz	
0.4 Abweichungen	5	(informativ)	51
1 Verständigung	6	D Tragsicherheitsnachweis von Wänden	
1.1 Fachausdrücke	6	(normativ)	53
1.2 Bezeichnungen	8		
2 Grundsätze	11		
2.1 Allgemeines	11		
2.2 Baustoffe	11		
2.3 Tragwerksanalyse und Bemessung	11		
2.4 Dauerhaftigkeit	12		
3 Baustoffe	14		
3.1 Mauerwerk	14		
3.2 Mauersteine	19		
3.3 Mörtel	20		
3.4 Füllbeton, Hinterfüllbeton (gemischte Bauweise Beton/Naturstein)	22		
3.5 Bewehrungs- und Vorspannsysteme	22		
3.6 Ergänzungsbauteile	22		
4 Tragwerksanalyse und Bemessung ..	23		
4.1 Allgemeines	23		
4.2 Bemessungswerte	23		
4.3 Nachweis der Tragsicherheit	25		
4.4 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ..	28		
4.5 Bemessungssituation Erdbeben	29		
5 Konstruktive Durchbildung	30		
5.1 Grundsätze	30		
5.2 Zusammenwirken der Mauerwerkskomponenten im Verband	30		
5.3 Wahl der Baustoffe und der Verbandsart	30		
5.4 Die Tragsicherheit beeinflussende Massnahmen	31		
5.5 Die Gebrauchstauglichkeit beeinflussende Massnahmen	32		
5.6 Mauerwerkskonstruktionen	33		
5.7 Besondere Hinweise	35		
6 Ausführung	40		
6.1 Bauausführung und Überwachung	40		
6.2 Baustoffe	40		
6.3 Masstoleranzen	40		
6.4 Herstellung des Mauerwerks	40		
6.5 Weitere Vorgaben zum Bauablauf	43		
6.6 Mauerwerk mit besonderen Eigenschaften und Ergänzungsbauteile	43		

VORWORT

Die vorliegende Norm ersetzt die Empfehlung SIA V 178, die Neubau und Erhaltung von Natursteinmauerwerk gleichermaßen berücksichtigte. Die vorliegende Norm behandelt die Neuerstellung von Natursteinmauerwerk. Die Erhaltung von Natursteinbauten wird durch die Norm SIA 269 und insbesondere durch die bauweisenspezifische Norm SIA 269/6-1 abgedeckt (Erhaltung von Tragwerken – Mauerwerksbau, Teil 1: Natursteinmauerwerk). Die vorliegende Norm ist in besonderer Weise mit der vorgenannten Norm verknüpft. So wurden in die vorliegende Norm Bau- und Bearbeitungstechniken aufgenommen, die nur noch an historischen, bestehenden Mauerwerken eine Rolle spielen. Die Beschreibung und Definitionen dieser althergebrachten Techniken sollen als Grundlage für Ergänzungen und den Wiederaufbau von Natursteinmauerwerk an bestehenden Bauten dienen.

Rein erhaltende Massnahmen hingegen sind in der Norm SIA 269/6-1 definiert. Im weiteren enthält die vorliegende Norm wie bereits die Vorgängernorm (SIA V 178) eine Methode zur Einschätzung der verbandstypischen Mauerwerksfestigkeit. Dieses Verfahren ist insbesondere zur Einschätzung der Festigkeit bestehender Mauerwerke hilfreich. Die Anwendbarkeit des Verfahrens wurde im Zuge der Erstellung dieser Norm mit Versuchen an Mustermauerwerken verifiziert.

Massives Natursteinmauerwerk wird heute im Landschaftsbau, als Böschungsmauer, als Hangsicherung und auch wieder vereinzelt als Tragwerk im Hochbau eingesetzt. Natursteinmauern sind, richtig konstruiert und ausgeführt, eine sehr dauerhafte und damit nachhaltige Bauweise. Die Verwendung von Naturstein im Mauerwerksbau ist in der Regel mit erhöhten ästhetischen Ansprüchen verbunden. Wenig schmeichelhafte Beispiele, vor allem im Blockmauerwerksbau zeigen indes, dass dieses Ziel, rein mit der Verwendung von Naturstein, nicht automatisch erreicht wird. Der Bau von Natursteinmauern, die diesem Ziel gerecht werden sollen, erfordert eine erhöhte Sensibilität in gestalterischer Hinsicht und besondere bautechnische Kenntnisse bezüglich Planung und Ausführung. Natursteinmauerwerke haben neben ihrer bautechnischen Funktion oftmals auch einen hohen ökologischen Stellenwert, besonders als Trockenmauerwerke und Steinkorbmauern im Landschaftsbau. Mauern können Lebensräume für Pflanzen und Tiere schaffen und verbinden. Werden diese Aspekte in der Planung berücksichtigt, so stellen Natursteinmauerwerke eine Bauweise dar, die unsere Umwelt zusätzlich bereichert. Wie dies im Einzelnen erfolgen kann, ist der Fachliteratur zu entnehmen.

Arbeitsgruppe SIA 266/2

0 GELTUNGSBEREICH

0.1 Abgrenzung

- 0.1.1 Diese Norm gilt für die Projektierung und Ausführung von Tragwerken aus Natursteinmauerwerk. Namentlich werden unter dieser Norm folgende Bauwerksarten erfasst:
- tragendes Natursteinmauerwerk im Hoch- und Tiefbau
 - Natursteinvormauerungen
 - Stützmauern, Böschungsmauern, Ufermauern inkl. Trockenmauerwerk und Gabionen (Steinkörbe).
- 0.1.2 Nicht Gegenstand dieser Norm sind:
- bestehende Bauten aus Natursteinmauerwerk (siehe Norm SIA 269/6-1)
 - Naturstein-Bodenbeläge und Bekleidungen im Innen- und Aussenbereich (siehe Norm SIA 246)
 - Naturstein-Bekleidungen für Hochbauten (hinterlüftete Natursteinfassaden)
 - Rollierung.
- 0.1.3 Die vorliegende Norm gilt in Verbindung mit folgenden Normen:
- Norm SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
 - Norm SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke
 - Norm SIA 261/1 Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
 - Norm SIA 267 Geotechnik.

0.2 Allgemeine Bedingungen Bau

Die Allgemeinen Bedingungen Bau (ABB) zur vorliegenden Norm sind in der Norm SIA 118/266 *Allgemeine Bedingungen für Mauerwerk* enthalten.

0.3 Normative Verweisungen

- 0.3.1 Auf die nachfolgend aufgeführten Normen wird verwiesen. Diese sind ganz oder im Sinne des Verweises mitgeltend:
- Norm SIA 246 Natursteinarbeiten – Beläge, Bekleidungen und Werkstücke
 - Norm SIA 262 Betonbau
 - Norm SIA 266 Mauerwerk
 - Norm SIA 266/1 Mauerwerk – Ergänzende Festlegungen
 - Norm SIA 269 Erhaltung von Tragwerken
 - Norm SIA 269/6-1 Erhaltung von Tragwerken – Mauerwerksbau, Teil 1: Natursteinmauerwerk
- 0.3.2 Bei der Projektierung und Ausführung sind die aktuellen fachtechnischen Richtlinien und Empfehlungen der Fachverbände zu konsultieren.

0.4 Abweichungen

Abweichungen von der vorliegenden Norm sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse dies rechtfertigen.

1 VERSTÄNDIGUNG

1.1 Fachausdrücke

In der vorliegenden Norm werden die nachfolgend definierten, spezifischen Fachausdrücke verwendet. Allgemeine, hier verwendete Fachausdrücke werden in den Normen SIA 260 und SIA 261 definiert. Weitere hier verwendete, spezifische Fachausdrücke werden in der Norm SIA 266 definiert.

Ausblüfung <i>efflorescence</i> <i>efflorescenza</i> <i>efflorescence</i>	Salz- und Kalkausscheidung aus dem Untergrund bzw. aus den verwendeten Baustoffen.
Bankung <i>stratification</i> <i>stratificazione</i> <i>bedding</i>	Schichtaufbau von sedimentären, magmatischen und metamorphen Gesteinen.
Bewegungsfuge, Dilatationsfuge <i>joint de dilatation</i> <i>giunto di dilatazione</i> <i>movement joint</i>	Fuge in Bauwerk bzw. Bauteil, um unvermeidliche Bewegungen örtlich definiert zuzulassen (z.B. thermische Dehnung, Schwinden, unterschiedliche Nutzlasten).
Bewehrung <i>armature</i> <i>armatura</i> <i>reinforcement</i>	Gesamtheit zusätzlich im Mauerwerksverband eingebauter, mit dem Tragwerk verbundener Elemente hoher Festigkeit, die insbesondere die Zugfestigkeit bestimmter Bauteile bzw. Bauteilbereiche erhöhen bzw. herstellen sollen.
Binder <i>boutisse</i> <i>legatura trasversale</i> <i>header, bond stone</i>	Mauerstein, dessen Längsachse im Verband waagrecht, jedoch senkrecht zur Sichtfläche verläuft (siehe Figur 1).
Blockmauerwerk <i>maçonnerie de blocs</i> <i>muratura in blocchi</i> <i>bloc masonry</i>	Aus grossen, roh gebrochenen, gespaltenen oder teilweise gesägten Blöcken aufgeschichtetes Mauerwerk (Steinmasse ca. 300–800 kg).
bossiert <i>fini à la bosse</i> <i>bugnato</i> <i>embossed</i>	Durch Bearbeitung erzeugtes Relief der Sichtfläche der einzelnen Mauersteine, das aus der fugenbündigen Flucht der Mauerwerksoberfläche hervortritt.
bruchroh <i>brut de carrière</i> <i>pietra grezza di cava</i> <i>rough quarry-stones</i>	Durch Spalten oder Brechen ohne weitere Bearbeitung gewonnene Fläche.
doppelhäuptiges Mauerwerk <i>maçonnerie à double parement</i> <i>muratura doppia faccia</i> <i>double faced masonry</i>	Beidseitig in Sichtbauweise erstelltes, freistehendes Mauerwerk, dessen Kern in seiner Machart von jener der Sichtflächen abweichen kann.
Drainageschicht <i>couche de drainage</i> <i>strato di drenaggio</i> <i>draining layer</i>	Schicht zur Ableitung von in die Konstruktion eingedrungenem Wasser.
Drucklinie <i>ligne de compression</i> <i>linea di pressione</i> <i>pressure trajectory</i>	Geometrischer Ort der zur Druckspannung im Mauerwerk statisch äquivalenten Normalkraft.
einhäuptiges Mauerwerk <i>maçonnerie à simple parement</i> <i>muratura ad una faccia</i> <i>single faced masonry</i>	Einseitig in Sichtbauweise erstelltes Mauerwerk, Rückseite häufig erdberührt (z.B. für Stützmauern).

<p>Galle <i>nodule</i> <i>nodulo</i> <i>nodule</i></p>	<p>Knollenartiger, meist weicher Einschluss in Sand- und Kalksteinen.</p>
<p>Gewölbe <i>voûte</i> <i>volta</i> <i>vault, arch</i></p>	<p>Gekrümmtes, raumüberspannendes Tragwerk.</p>
<p>Mauerwerkshaupt, Haupt <i>parement</i> <i>paramento</i> <i>masonry face</i></p>	<p>Traditioneller Begriff für die Sichtfläche eines Mauerwerks bzw. die Sichtfläche eines einzelnen Mauersteins.</p>
<p>Klüftung <i>faille</i> <i>fessura</i> <i>faulting</i></p>	<p>Im anstehenden Gestein (Steinbruch) bestehende Risse und Hohlräume, die durch geologische Prozesse erzeugt wurden.</p>
<p>Lager <i>lit de carrière</i> <i>stratificazione</i> <i>stratification</i></p>	<p>Natürliche Schichtung, Bankung bzw. Schieferung eines Gesteins.</p>
<p>Läufer <i>panneresse</i> <i>testata</i> <i>stretcher</i></p>	<p>Mauerstein, dessen Längsachse im Verband waagrecht und parallel zur Sichtfläche verläuft (siehe Figur 1).</p>
<p>Leber <i>inclusion</i> <i>inclusione</i> <i>inclusion</i></p>	<p>Toniger, lehmiger, mergeliger oder kohligter Einschluss im Gestein (vor allem in Sandsteinen).</p>
<p>Mauerwerk (Naturstein) <i>maçonnerie (pierre naturelle)</i> <i>muratura (pietra naturale)</i> <i>masonry (natural stone)</i></p>	<p>Aufschichtung aus Mauersteinen und gegebenenfalls Mauer Mörtel, deren Ganzes ein zusammenwirkendes, statisch relevantes Bauteil bzw. einen zusammenwirkenden, statisch relevanten Baukörper bildet.</p>
<p>mehrschaliges Mauerwerk <i>maçonnerie mixte</i> <i>muratura a più strati</i> <i>mixed masonry</i></p>	<p>Mauerwerk, das im Querschnitt durch die Mauerwerksebene aus mehreren, in der Regel direkt miteinander verbundenen Schalen aufgebaut ist.</p>
<p>Oberflächenbearbeitung <i> finition de surface</i> <i>finitura</i> <i>surface finish</i></p>	<p>Erzeugen einer definierten Oberflächenstruktur durch mechanische oder thermische Einwirkung.</p>
<p>Oberflächenbehandlung <i>traitement de surface</i> <i>trattamento della superficie</i> <i>surface treatment</i></p>	<p>Imprägnierungen, Beschichtungen oder chemische Behandlungen der Oberflächen zu Schutz- und/oder Gestaltungszwecken.</p>
<p>Randschlag <i>ciselure</i> <i>cesellatura</i> <i>chiselled edges</i></p>	<p>Von der Mauersteinoberfläche abweichende, feinere Bearbeitung der Randbereiche eines Mauersteins, in der Regel bei grob bearbeiteten oder bossierten Mauersteinsichtflächen.</p>
<p>Rollierung <i>ouvrage de stabilisation de talus en pierre</i> <i>stabilizzazione di scarpata</i> <i>slope stabilisation</i></p>	<p>Aus Steinen aufgeschichtete Böschungsbefestigung mit Neigungen unterhalb des natürlichen Böschungswinkels.</p>
<p>Salzloch <i>vacuole</i> <i>vacuolo</i> <i>vacuole</i></p>	<p>Ganz oder teilweise mit Quarz bzw. Calcit gefülltes Loch bzw. Kluft im Gestein.</p>

Schale <i>paroi</i> <i>strato di muratura</i> <i>vertical masonry layer</i>	Parallel zur Mauerwerksoberfläche verlaufender Bereich mit gleichbleibender Verbandsart.
Schichtung <i>litage</i> <i>stratificazione</i> <i>bedding</i>	Durch geologische Prozesse erzeugtes Schichtgefüge von Gesteinen, dessen Lagen eine Mächtigkeit von > 1 cm bis zu etlichen Metern aufweisen können.
Schieferung <i>schistosité</i> <i>scistosità</i> <i>schistosity</i>	Durch Druck und Temperatur (Metamorphose) erzeugte parallele Ausrichtung der gesteinsbildenden Mineralien in Sedimenten und kristallinen Gesteinen (z. B. in Gneisen, Quarziten).
Stich <i>petite faille</i> <i>piccola crepa</i> <i>small fissure</i>	Riss oder feine offene Kluft im Gestein, oft nicht durchgehend, meist quer zum Lager, mit natürlichem Ursprung.
Trockenmauerwerk <i>maçonnerie de pierre sèche</i> <i>muratura a secco</i> <i>dry masonry</i>	Mauerwerk, das ohne Mörtel, nur mit Mauersteinen aufgeschichtet ist.
Verband (Mauerwerksverband) <i>appareil (de maçonnerie)</i> <i>legatura della muratura</i> <i>stonework type</i>	Aufschichtungsweise des Mauerwerks, sich ergebend aus Steinform, Format, Bearbeitung und Anordnung.
Werkstück <i>élément taillé</i> <i>pezzo di pietra lavorata</i> <i>dimensional stone</i>	Auf besonderes Mass zugeschnittenes und nachbearbeitetes Element.
Zwickelstein <i>remplissage, coins</i> <i>scaglie</i> <i>wedge stone</i>	Kleiner Stein oder Steinbruchstück zum Ausfüllen von Lücken zwischen Mauersteinen des verbandstypischen Formats.

1.2 Bezeichnungen

1.2.1 Lateinische Grossbuchstaben

A_0	belastete Teilfläche
A_1	Gesamtfläche mit gleichem Schwerpunkt wie A_0
B_y	Rechenwert der Biegesteifigkeit von Natursteinmauerwerk unter Normalkraftbeanspruchung N_x bei Biegung um die y -Achse
E_a	aktiver Erddruck
E_{bk}	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls von Mauerstein
E_{mk}	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls von Mauermörtel
E_{xd}	Bemessungswert des Elastizitätsmoduls für senkrecht zu den Lagerfugen beanspruchtes Mauerwerk
E_{xk}	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls von senkrecht zu den Lagerfugen beanspruchtem Mauerwerk
G_k	charakteristischer Wert des Schubmoduls von Mauerwerk
I_y	Trägheitsmoment der Bruttoquerschnittsfläche der Wand um die y -Achse
M_y	Biegemoment um die y -Achse

$M_{y,d}$	Bemessungswert von M_y
M_{z1}	am oberen Wandende aufgebracht, senkrecht zur Wandebene wirkendes Biegemoment
M_{z2}	am unteren Wandende aufgebracht, senkrecht zur Wandebene wirkendes Biegemoment
$M_{z1,d}$	Bemessungswert von M_{z1}
$M_{z2,d}$	Bemessungswert von M_{z2}
N_x	in der Wandebene zentrische, senkrecht zu den Lagerfugen wirkende Normalkraft
$N_{x,d}$	Bemessungswert von N_x
$N_{x,Rd}$	Bemessungswert des Normalkraftwiderstands
R	Tragwiderstand
R_d	Bemessungswert des Tragwiderstands
V	von einer Schubwand übertragene, senkrecht zu den Stossfugen wirkende Querkraft
V_d	Bemessungswert von V
X_k	charakteristischer Wert einer Baustoffeigenschaft

1.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a	Einbindelänge
a_d	Bemessungswert einer geometrischen Grösse
e_z	Exzentrizität von N_x bzw. $N_{x,d}$ in der Richtung senkrecht zur Wandebene
$e_{z,d}$	Bemessungswert von e_z
f_b	Würfeldruckfestigkeit der Mauersteine
f_{bk}	charakteristischer Wert der Würfeldruckfestigkeit der Mauersteine
f_{cd}	Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
f_{txk}	charakteristischer Wert der Mauerwerksbiegezugfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen
f_{tyk}	charakteristischer Wert der Mauerwerksbiegezugfestigkeit senkrecht zu den Stossfugen
f_{mk}	charakteristischer Wert der Mörteldruckfestigkeit
f_{pd}	Bemessungswert der Fliessgrenze von Spannstahl
f_{sd}	Bemessungswert der Fliessgrenze von Betonstahl
$f_{x,d}$	Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen
f_{xk}	charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen
$f_{y,d}$	Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Stossfugen
f_{yk}	charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Stossfugen
$f_{\alpha,d}$	Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit in der Wandebene bei von der Richtung senkrecht zu den Lagerfugen um den Winkel α abweichender Druckrichtung
h_{cr}	Knicklänge
h_E	Bezugshöhe bei aufgezwungenen Wandverdrehungen
h_{Ed}	Bemessungswert von h_E
h_w	auf die Mitten der angrenzenden Decken bezogene Wandhöhe
h_0	Schichthöhe
k_E	Beiwert zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Mauerwerk
k_N	Beiwert zur Ermittlung des Tragwiderstands unter Normalkraftbeanspruchung
k_V	Beiwert zur Ermittlung des Tragwiderstands unter Schubbeanspruchung
l_{nom}	nominelle Wandlänge

l_w	Wandlänge
l_1	Länge des Druckspannungsfeldes am oberen Wandrand
l_2	Länge des Druckspannungsfeldes am unteren Wandrand
m_k	charakteristischer Wert des Koeffizienten der inneren Reibung in den Lagerfugen
q	Verhaltensbeiwert für Tragwerke unter Erdbebeneinwirkung
t_{nom}	Dicke der Druckstrebe
t_w	Wanddicke, Pfeilerdicke
w_d	elastische Wanddurchbiegung unter dem Bemessungswert der Querbelastung
x	Höhe der Druckzone
x_d	Bemessungswert von x

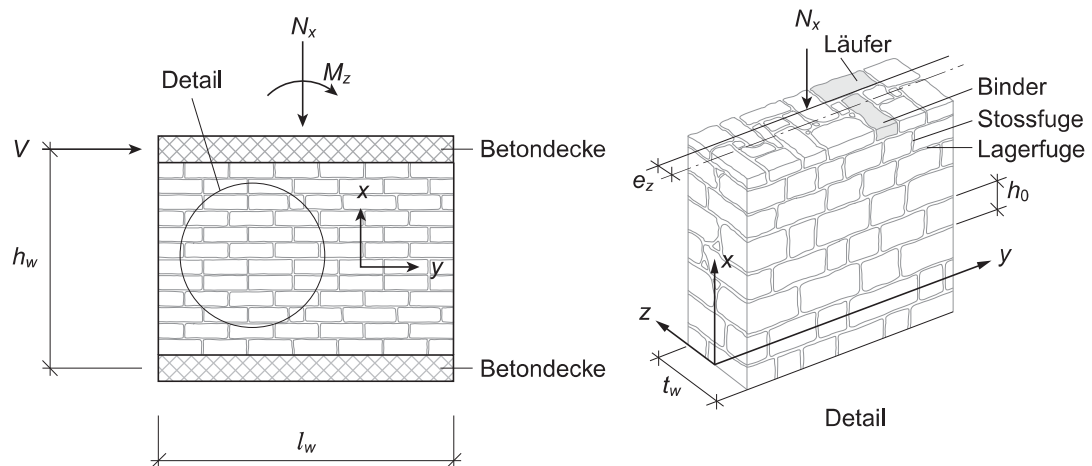
1.2.3 Griechische Kleinbuchstaben

α	Winkel
α_T	Temperaturausdehnungskoeffizient
γ_M	Partialfaktor zur Berücksichtigung von Unschärfen im Widerstandsmodell sowie von Abweichungen der Baustoffeigenschaften von den charakteristischen Werten
ε_s	Endschwindmass
η	Umrechnungsfaktor
η_1	Umrechnungsfaktor zur Berücksichtigung der Erhöhung von $f_{x,d}$ bei Teilflächenbelastung
χ_y	Rechnerische Krümmung (gemittelt über Stein und Fuge) bei Biegung um die y -Achse
ϑ	Wand-Decken-Knotendrehwinkel
ϑ_d	Bemessungswert von ϑ
μ_d	Bemessungswert des Koeffizienten der inneren Reibung in den Lagerfugen
φ	Endkriechwert

1.2.4 Sonderbezeichnungen

$\{...\}$	Funktion der in der Klammer aufgeführten Bemessungswerte; je nach Nachweis können einzelne oder mehrere dieser Werte entfallen
-----------	--

Figur 1: Bezeichnungen
Ebene x - y : Mittelebene der Mauerwerksschale
Ebene y - z : Ebene der Lagerfugen



2 GRUNDSÄTZE

2.1 Allgemeines

2.1.1 Die Grundlagen der Projektierung von Tragwerken sind in der Norm SIA 260 festgelegt.

2.1.2 Hinsichtlich der Einwirkungen gelten die Normen SIA 261 und SIA 267.

2.1.3 Nebst den in der Norm SIA 260 aufgeführten Entwurfsrandbedingungen sind weitere Aspekte zu beachten, beispielsweise:

- Anforderungen an das Erscheinungsbild der Mauerwerksoberflächen
- Exposition des Mauerwerks bezüglich Umwelteinflüssen (Verwitterung, Schadstoffe)
- Anforderungen an den Feuerwiderstand
- Anforderung an die Wärmedämmung
- Anforderungen an den Schallschutz

2.2 Baustoffe

2.2.1 Die Wahl der Baustoffe ist auf die Entwurfsanforderungen abzustimmen. Die geforderten Eigenschaften sind in den Bauwerksakten festzuhalten.

2.2.2 Die Prüfung der Mauerwerkskomponenten erfolgt nach den geltenden EN-Normen.

2.2.3 Für die Prüfung ganzer Mauerwerkskörper aus Naturstein gibt es keine Prüfnorm. Gegebenenfalls sind der konkreten Anwendung entsprechende Prüfverfahren zu konzipieren.

2.3 Tragwerksanalyse und Bemessung

2.3.1 Allgemeines

Tragwerksanalyse und Bemessung sind nach der Norm SIA 260 vorzunehmen.

2.3.2 Grenzzustände der Tragsicherheit

2.3.2.1 Für den Bemessungswert des Tragwiderstands gilt:

$$R_d = R \left\{ \frac{\eta \cdot X_k}{\gamma_M}, f_{cd}, f_{sd}, f_{pd}, a_d \right\} \quad (1)$$

2.3.2.2 Die Bemessungswerte f_{cd} , f_{sd} und f_{pd} für die Druckfestigkeit des Betons bzw. für die Fließgrenzen von Betonstahl und Spannstahl sind gemäss Norm SIA 262 anzusetzen.

2.3.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

2.3.3.1 Gebrauchsgrenzen für Rissbreiten, Horizontalverschiebungen und Randzugdehnungen sind in der Projektbasis festzulegen.

2.3.3.2 Risse dürfen keine massgebenden Schädigungsmechanismen auslösen. Die Oberflächenbeschaffenheit, die Exposition und die massgebenden Umweltfaktoren sind zu berücksichtigen.

2.4 Dauerhaftigkeit

2.4.1 Allgemeines

Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit sind in der Projektbasis und im Unterhaltsplan festzuhalten.

2.4.2 Exposition

2.4.2.1 Den Bauteilen sind bezogen auf die Umwelteinwirkungen Expositionsklassen gemäss Tabelle 1 zuzuordnen. Abgestimmt auf die Expositionsklassen sind gemäss Ziffer 2.4.3 Massnahmen zu ergreifen.

2.4.2.2 Falls keine Expositionsklasse zutrifft, sind die zu erwartenden Ein- und Auswirkungen zu beachten.

2.4.2.3 Für Bauteile der Expositionsklasse X0 sind keine besonderen Anforderungen an die Dauerhaftigkeit zu stellen.

2.4.2.4 Für chemische Angriffe durch natürliche Böden und Grundwasser sowie für alle übrigen Arten von chemischen Angriffen sind besondere Abklärungen vorzunehmen.

2.4.2.5 Ein Zusammenwirken von zwei oder mehr Umwelteinflüssen ist zu beachten.

2.4.3 Massnahmen

Zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit sind, abgestimmt auf die Expositionsklassen und die Nutzung, in der Regel verschiedene Massnahmen zu ergreifen, beispielsweise:

- Verwenden geeigneter Mauersteine gemäss Ziffer 3.2
- Verwenden eines geeigneten Mörtels gemäss Ziffer 3.3
- Beschränken der Rissbreiten gemäss Ziffer 4.4
- Feuchteschutz und Entwässerung gemäss Ziffer 5.5.2
- Verwenden von Bewehrung mit erhöhtem Korrosionswiderstand gemäss Ziffer 3.5.2.

Tabelle 1: Expositionsklassen (Mauersteine und Mörtel)

Expositionsklasse	Umwelteinflüsse	Beispiele von Bauteilen
1) keine Schädigung		
X0	ständig trocken, keine Frost-Tau-Wechsel, kein chemischer Angriff	vor Bewitterung gut geschützte Bauteile
2) Gefügeschädigung durch Frosteinwirkung		
XF1	mässiger Wassersättigungsgrad	vertikale Oberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind
XF2	hoher Wassersättigungsgrad	horizontale Oberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind (z. B. Mauerkronen)
3) Gefügeschädigung durch Feuchtigkeit ohne Frosteinwirkung		
XH1	trocken	Bauteile im Gebäudeinnern bei geringer Luftfeuchtigkeit
XH2	mässig feucht	vor Regen geschützte Oberflächen im Freien, Bauteile im Gebäudeinnern bei mässiger oder hoher Luftfeuchtigkeit (z. B. Nassräume)
XH3	nass, selten trocken	langzeitig wasserbenetzte Oberflächen (z. B. in Wellnesszonen)
XH4	wechselnd nass und trocken	wasserbenetzte Oberflächen, die nicht der Klasse XH3 zuzuordnen sind
XH5	ständig nass	ständig wassergesättigtes Mauerwerk (z. B. im Bäderbau)
4) Angriff durch Salze		
XQ1	Salzeintrag durch natürliche, salzbelastete Böden und Anschlussbauteile	erdberührte Stützmauer
XQ2	Streusalzeintrag an frei bewitterten Oberflächen	im Einflussbereich von Streusalzanwendung
XQ3	Streusalzeintrag an unbewitterten Oberflächen	im Einflussbereich von Streusalzanwendung
5) Verschleiss		
XM0	keine massgebenden Verschleissbeanspruchungen	Mauerwerksbau im Allgemeinen
XM3	Starker, mechanischer Abtrag, Erosion	Kanalmauern, Bachsohlen, Tosbecken im Wasserbau

3 BAUSTOFFE

3.1 Mauerwerk

3.1.1 Anforderungen

3.1.1.1 Die Art des Mauerwerks ist so zu wählen, dass es die gestellten Anforderungen in Bezug auf Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt.

3.1.1.2 Es wird zwischen normalem Mauerwerk und hochwertigem Mauerwerk unterschieden. Für normales Mauerwerk können sämtliche Verbandsarten verwendet werden. Für hochwertiges Mauerwerk sind die Verbandsarten C, D und E gemäss Figur 3 zu wählen. Die Anforderungen an die Ausbildung des Mauerwerksverbands sind gemäss Ziffer 6.4.2, Tabelle 7, einzuhalten.

3.1.2 Arten von Natursteinmauerwerk

Die Arten von Natursteinmauerwerk werden nach folgenden Kriterien unterschieden:

- Technik des Aufbaus (Bautechnik):
 - aus vermörtelten Mauersteinen aufgebautes Mauerwerk
 - Trockenmauerwerk (ohne Mörtel aufgeschichtetes Mauerwerk)
 - Blockmauerwerk (aus grossen Blöcken von ca. 300–800 kg aufgeschichtetes Mauerwerk)
 - aus aufgeschichteten Steinkörben aufgebaute Mauer.
- Bauweise:
 - einschaliges Mauerwerk
 - mehrschaliges Mauerwerk
 - einhäuptiges und doppelhäuptiges Mauerwerk.
- Verbandsart:

Als Verband wird das «Mauerwerksmuster» bezeichnet, das sich aus den unterschiedlichen Mauersteinformaten und der Art der Aufschichtung ergibt.
- Art der verwendeten Steine:
 - nach der verwendeten Gesteinsart, z. B. Sandstein- und Kalksteinmauerwerk
 - nach Art der Gewinnung der Mauersteine (Abbautechnik, Bearbeitung), z. B. Bruchsteinmauerwerk
 - nach der Form der verwendeten Steine, z. B. Bollensteinmauerwerk aus Flusskiesel.

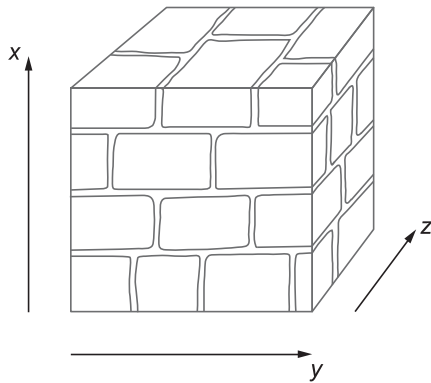
3.1.3 Bezeichnung

3.1.3.1 Natursteinmauerwerk ist nach der Verbandsart zu bezeichnen.

3.1.3.2 Bei Natursteinmauerwerk ist die Dreidimensionalität, d. h. die Frage, ob Aufbau, Verbandsart und Baustoffe im Gesamtquerschnitt konstant bleiben, zu beachten.

3.1.3.3 Die Mauerwerksfestigkeit wird für jede Schale an einem repräsentativen Volumenelement bestimmt.

Figur 2: Repräsentatives Volumenelement einer Mauerwerksschale



3.1.4 Mauerwerksverbände

3.1.4.1 Die nachfolgende Beschreibung der Mauerwerksverbände dient als Grundlage für die Bestimmung der verbandstypischen Mauerwerksfestigkeit, wobei die in Figur 6 aufgeführten Kriterien ebenfalls zu berücksichtigen sind.

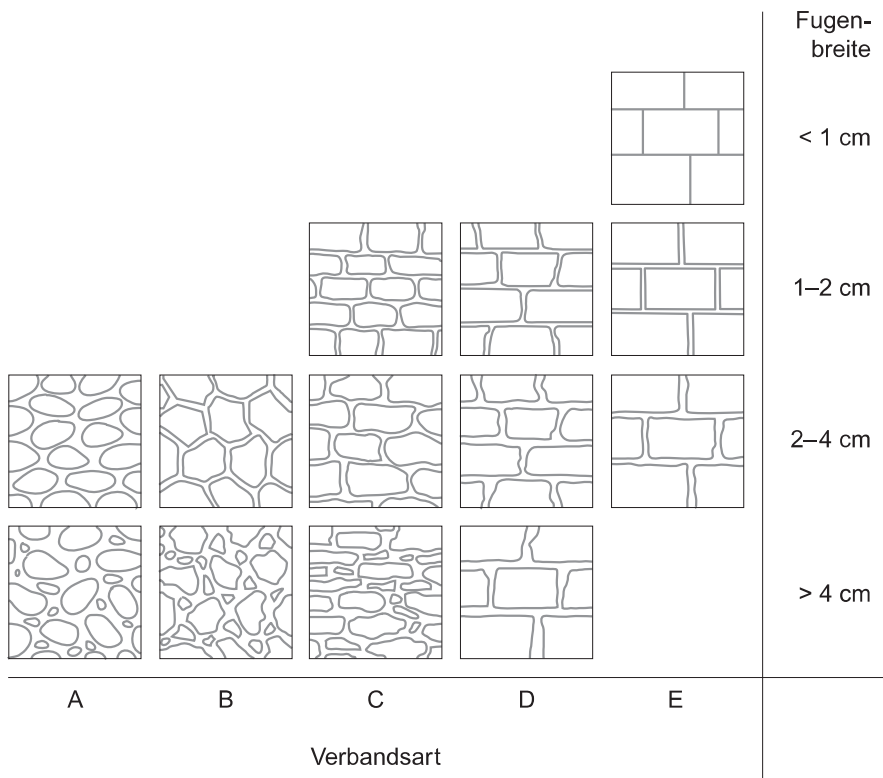
3.1.4.2 Die verschiedenen Verbandsarten für Natursteinmauerwerk sind mit ihren Eigenschaften in Tabelle 2 beschrieben und im Anhang A beispielhaft dargestellt. Figur 3 zeigt schematisch den Einfluss von Verbandsart und Fugenbreite auf den Tragwiderstand. Die Grösse der Mauersteine kann innerhalb der jeweiligen Verbandsart stark variieren.

Für Trockenmauerwerksverbände kann die nachfolgende Systematisierung nur sinngemäss übernommen werden – bezüglich Tragwiderstand und Ausführbarkeit bestehen Einschränkungen, die fallspezifisch zu bestimmen sind.

Tabelle 2: Verbandsarten Natursteinmauerwerk

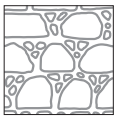

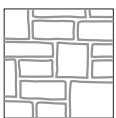
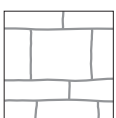
Verbandsart	Bezeichnung	Erläuterung
A	Bollensteinmauerwerk	Mauerwerk aus runden Flusskieseln bzw. gerundeten Ackersteinen.
B	Bruchsteinmauerwerk	Mauerwerk aus nicht weiter behauenen, kantigen Bruchsteinen ohne deutliche, horizontale Schichtung. Das Zyklopenmauerwerk stellt eine exakt gefügte, grobblockige Variante dieser Verbandsart dar.
C	Bruchsteinschichtenmauerwerk	Überwiegend horizontal geschichtetes Mauerwerk aus nicht weiter gerichteten Bruchsteinen von plattigem Format (Kalksteine, Gneise, zuweilen auch Sandsteine) im überlappenden Verband.
D	Schichtenmauerwerk	Systematisch in horizontalen Schichten aufgebautes Mauerwerk aus plattigen Bruchsteinen oder grob gerichteten Mauersteinen. Diese Verbandsart entsteht, wenn rohe Bruchsteine vor dem Vermauern zu rechteckigen Formaten gerichtet oder wenn Bruchsteine aus geschichteten Gesteinsvorkommen verbaut werden. Massgebend ist nicht die Erscheinung des Mauerwerkes an der Sichtfläche (Haupt), sondern ein horizontaler Verlauf der Lagerfugen im Gesamtquerschnitt des Mauerwerkes.
E	Quadermauerwerk	Exakt geschichtetes Mauerwerk aus quaderförmigen, allseitig bearbeiteten Mauersteinen.
B–D	Blockmauerwerk	Vermörtelt oder trocken erstelltes Mauerwerk aus formwilden bis prismatischen Blöcken von ca. 300–800 kg Gewicht.

Figur 3: Schematische Darstellung der Zunahme des Tragwiderstandes von links nach rechts (A – E) nach Form und Bearbeitung der Steine und von unten nach oben nach der Fugenstärke, d. h. dem Mörtelanteil



3.1.4.3 Kombinationen und Abwandlungen der genannten Verbandsarten sind möglich. Eine Auswahl weiterer Verbandsarten gibt Tabelle 3 (nicht abschliessend).

Tabelle 3: Weitere Verbandsarten

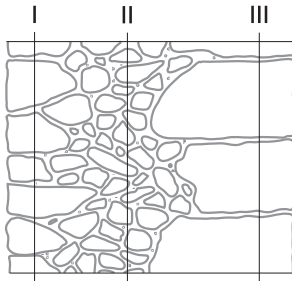
Verbandsart	Erläuterung
	Mauerwerk aus grossen, unförmigen Blöcken, lagenweise versetzt, Zwischenräume der Lagen jeweils mit kleinen Bruchsteinen egalisiert (historisch, Festungsbau) (Verbandsart A oder B).
	Im Fischgratmuster vermauerte Bollensteine (historisch), auch mit Bruchsteinen anzutreffen (Verbandsart A).
	Schottischer Mauerwerksverband: Einzelne Mauersteine haben die Höhe mehrerer Steinschichten. Diese Verbandsart ist mit D oder E zu bezeichnen.
	Unregelmässiger Schichtenverband: unterschiedlichen Schichthöhen bei den Verbandsarten C, D und E.

3.1.5 Mehrschaliges Mauerwerk

3.1.5.1 Innerhalb eines Mauerkörpers können verschiedene Verbandsarten zur Anwendung kommen. Figur 4 zeigt einen Vertikalschnitt durch ein mehrschalig aufgebautes Mauerwerk. In diesem Beispiel können drei verschiedene Verbandsarten unterschieden werden (Schichtenmauerwerk (I), Bruchsteinmauerwerk (II), Quadermauerwerk (III)).

- 3.1.5.2 Die Mehrschaligkeit ist bei der Zuordnung des Tragwiderstands des gesamten Mauerwerkskörpers zu berücksichtigen. Besonders zu beachten ist der Querverband zwischen den einzelnen Schalen.
- 3.1.5.3 Als mehrschalig werden auch Kombinationen aus Natursteinmauerwerk und Beton bezeichnet.

Figur 4: Mehrschaliger Aufbau eines Natursteinmauerwerks



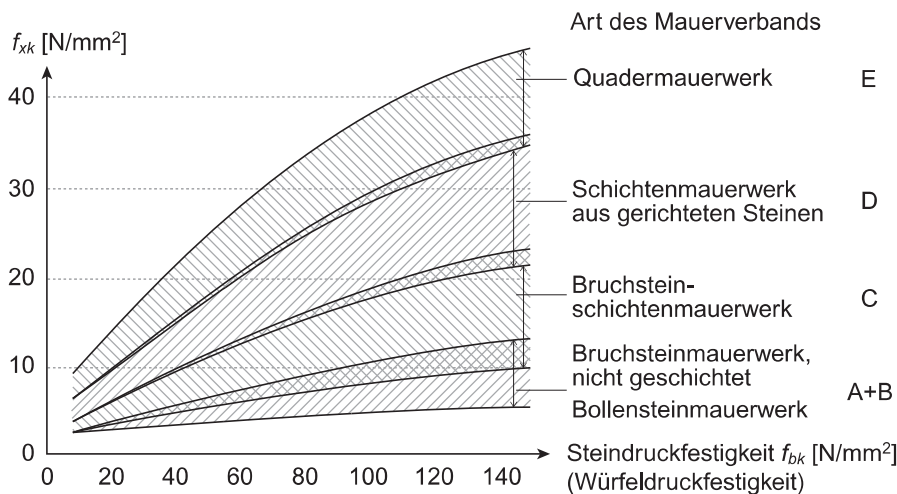
3.1.6 Allgemeines zur verbandstypischen Mauerwerksfestigkeit

- 3.1.6.1 Grundsätzlich ist die Mauerwerksfestigkeit mit zweckmässigen Versuchen am Mauerwerk zu bestimmen.
- 3.1.6.2 Falls keine Versuche durchgeführt werden, kann die Mauerwerksfestigkeit gemäss Ziffer 3.1.7 abgeschätzt werden.

3.1.7 Mauerwerksdruckfestigkeit unter Normalkraftbeanspruchung

- 3.1.7.1 Die nachfolgend angegebenen Kennwerte gelten für Mauerwerk, das folgende Bedingungen erfüllt:
- Steinfestigkeit $f_{bk} > 10 \text{ N/mm}^2$
 - Elastizitätsmodul von Stein und Mörtel: $E_{bk} > E_{mk}$
- 3.1.7.2 Die Steindruckfestigkeiten sind zu deklarieren oder projektspezifisch zu prüfen.
- 3.1.7.3 Die Druckfestigkeit bei Normalkraftbeanspruchung kann in Abhängigkeit der Art des Mauerwerkverbands und der Druckfestigkeit des verwendeten Natursteins mithilfe von Figur 5 abgeschätzt werden. Der Streubereich in Figur 6 bildet die festigkeitsbeeinflussenden Faktoren (vgl. Ziffern 3.1.7.4 bis 3.1.7.6) ab. Bei ungünstiger Kombination der Einflussfaktoren können auch Werte unterhalb der verbandstypischen Festigkeiten gemäss Figur 5 auftreten.















Figur 5: Festigkeiten und Mauerverband



- 3.1.7.4 Natursteinmauerwerk kann oft nicht eindeutig einer bestimmten Verbandsart zugeordnet werden. Bei der Abschätzung der Mauerwerksdruckfestigkeit ist es daher notwendig, aus den schraffierten Bereichen in Figur 5 einen Wert zu bestimmen, mit dem die Eigenschaften eines konkret vorliegenden Mauerwerks berücksichtigt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass auch die positiven Eigenheiten eines Verbandes genügend berücksichtigt werden. Nachfolgende Tendenzen und Definitionen können dabei nützlich sein:
- Bei Lagerfugendicken unter 1 cm spielt die Mörtelfestigkeit keine massgebende Rolle mehr für die Mauerwerksdruckfestigkeit.
 - Bei den Verbandsarten C, D und E ist die Mörtelfestigkeit bei Mörteldicken > 1 cm von Bedeutung für die Mauerwerksdruckfestigkeit (nur bei hoch beanspruchten Bauteilen), d. h. mit steigender Fugenbreite und fallender Mörtelfestigkeit verringert sich die Mauerwerksdruckfestigkeit.
 - In mörtelreichem, nicht geschichtetem Bruchstein- und Bollensteinmauerwerk (Verbandsart A und B) liegt die Mauerwerksdruckfestigkeit im Bereich der Mörtelfestigkeit, sofern der Mörtel gut mit den Mauersteinen verbunden ist. Ist dies nicht der Fall, kann die Mauerwerksdruckfestigkeit unabhängig von der Steinfestigkeit auch deutlich unter der Mörtelfestigkeit liegen.
 - Stütz- und Böschungsmauern werden heute oftmals in kombinierter Bauweise (Natursteinvormauerung/Betonhinterfüllung) erstellt. Diese Bauweise ist als mehrschalig zu betrachten.
 - Bei Verwendung der gemäss Normprüfung ermittelten Steindruckfestigkeiten ist auf allenfalls vorhandene, gesteinstypische Eigenheiten zu achten, die dazu führen, dass die Normdruckfestigkeit höher liegt als die Druckfestigkeit der effektiv verwendeten Mauersteine (z. B. feine Klüftung, Stiche, Mikrorisse bei Kalksteinen). Gegebenenfalls ist eine angemessene Abminderung der Normdruckfestigkeit vorzunehmen.

3.1.7.5 Im Weiteren können die unter Figur 6 dargestellten Kriterien zur Beurteilung der Mauerwerksdruckfestigkeit verwendet werden. Trockenmauerwerke sind sinngemäss gesondert zu beurteilen.

Figur 6: Die Mauerwerksdruckfestigkeit beeinflussende Faktoren

Die Druckfestigkeit des Mauerwerks ist				
umso grösser				umso kleiner
je quaderförmiger die Steine sind		Form		je unregelmässiger/runder die Steine sind
je weniger Steine die Mauer bilden		Anzahl		je mehr Steine die Mauer bilden
je rauer die Lagerfläche ist		Lagerrauigkeit		je feiner die Lagerfläche ist
je schmaler die Fuge im Verhältnis zur Steinhöhe ist		Stein : Fuge		je breiter die Fuge im Verhältnis zur Steinhöhe ist
je gedrungener die Steine sind		Höhe : Breite		je schlanker die Steine sind
je besser der Querverband ist		Querverband (im Grundriss)		je schlechter der Querverband ist
je höher die Mörtelfestigkeit ist		Mörtelfestigkeit		je tiefer die Mörtelfestigkeit ist

3.1.8 **Elastizitätsmodul Mauerwerk**

3.1.8.1 Der Elastizitätsmodul von Natursteinmauerwerk streut. Sein Wert kann aus der Addition der Elastizitätsmoduli von Stein und Mörtel entsprechend ihrem Volumenanteil bzw. Höhenanteil im Mauerwerk gemäss folgender Formel ermittelt werden:

– für Verbandsarten A und B:

$$E_{xk} = E_{bk} \cdot \text{Volumenprozent Stein} + E_{mk} \cdot \text{Volumenprozent Mörtel}$$

– für Verbandsarten C, D und E:

$$E_{xk} = E_{bk} \cdot \text{Steinhöhe bezogen auf die Gesamthöhe} + E_{mk} \cdot \text{Lagerfugenstärke bezogen auf die Gesamthöhe}$$

3.1.8.2 In erster Näherung kann folgender Wert angenommen werden:

$$E_{xk} = k_E \sqrt{\frac{f_{xk}}{5\text{N/mm}^2}} \quad (2)$$

Für den Beiwert k_E sind Werte zwischen 3000 N/mm² und 4000 N/mm² anzunehmen.

3.1.9 **Winkel der Inneren Reibung**

Der Winkel der inneren Reibung kann je nach Rauigkeit der Natursteinoberfläche, der Steifigkeit und der Belastungsrichtung sehr stark variieren. Er ist daher im Allgemeinen in Versuchen zu ermitteln.

Für vermörteltes Mauerwerk der Verbände C, D und E mit ausreichend starker Mörtelfuge und rauen Steinoberflächen, bei dem die Steifigkeit deutlich höher ist als die Mörtelfestigkeit, kann als Richtwert des Winkels der inneren Reibung der Lagerfuge der Wert $\mu_k = 0,72$ angenommen werden.

Für Natursteinmauerwerk aus geschnittenen (gesägten) Steinen mit glatten Lagerfugen ist μ_k im Einzelfall zu bestimmen. Ohne genauere Untersuchungen gilt $\mu_k = 0$.

3.2 **Mauersteine**

3.2.1 **Gesteinsart**

3.2.1.1 Die petrographisch korrekte Benennung der Gesteine gibt keine eindeutigen Hinweise betreffend der Eignung eines Gesteins für einen bestimmten Zweck, d. h. sie darf nicht als werkstofftechnische Qualifizierung eines Gesteins betrachtet werden.

3.2.1.2 Es existiert keine werkstofftechnische Klassifizierung für Mauerwerkssteine aus Naturstein. Die Eignung eines bestimmten Gesteins für einen bestimmten Zweck ist auf konkrete Erfahrung in vergleichbaren Anwendungen sowie auf Prüfungen und Untersuchungen abzustützen.

3.2.1.3 Handelsnamen dürfen nur verwendet werden, wenn Herkunft, Gesteinsart und Eignung des betreffenden Gesteins deklariert sind.

3.2.2 **Gesteinsbearbeitung**

3.2.2.1 Die Art (Typ, Technik) und Genauigkeit der Bearbeitung der Mauersteine sind zu deklarieren.

3.2.2.2 Zu unterscheiden sind bezüglich Mauersteingeometrie folgende Bearbeitungen, wobei Mischformen und Teilbearbeitungen gängig sind (Bearbeitungen gemäss Ziffer 5.7.1.5, Tabelle 6, und Anhang B):

- roh, unbearbeitet (Bollensteine, Ackersteine, Gehängeschutt, Findlinge)
- gebrochen
- gerichtet
- auf ein bestimmtes Mass überarbeitet
- auf Mass gesägt.

3.2.2.3 Im Weiteren ist die Bearbeitung der Sichtfläche zu deklarieren, sofern sich diese von den anderen Flächen unterscheidet, z.B. bossiert, gespitzt, mit oder ohne Randschlag; siehe Ziffer 5.7.1.

3.2.3 **Mindestanforderungen an die Mauersteine**

3.2.3.1 Die Festigkeit der Mauersteine muss auf die Anwendung abgestimmt werden. Für hochwertiges Mauerwerk sind Steine mit einer Druckfestigkeit $f_{bk} \geq 100 \text{ N/mm}^2$ zu verwenden. Abweichungen sind zu begründen (siehe Anhang C).

3.2.3.2 Bezüglich Dauerhaftigkeit muss das gewählte Gestein unter den vorgängig zu definierenden Expositionsklassen eine ausreichende Beständigkeit aufweisen.

3.2.3.3 Die Mauersteine einer Lieferung dürfen keine die Festigkeit massgebend vermindernenden Fehlstellen bzw. Einlagerungen aufweisen (Risse, Stiche, Verwitterungsmerkmale usw.). Mauersteine mit Einschlüssen, die zu einer Beeinträchtigung der Sichtfläche führen können (Gallen, Lebern, Salzlöcher usw.) dürfen nur in Absprache mit der Bauherrschaft verbaut werden.

3.2.3.4 Die Mauersteine einer Lieferung sollen dem Muster in Farbe und Struktur entsprechen. Abweichungen sind naturbedingt innerhalb vernünftiger, gesteinstypischer Grenzen zulässig. Engere Selektionen sind mittels Grenzbemusterung besonders zu vereinbaren.

3.3 **Mörtel**

3.3.1 **Unterscheidung**

3.3.1.1 Es ist gegebenenfalls zwischen Verfugmörtel und Mauermörtel zu unterscheiden:

3.3.1.2 Der Mauermörtel dient als Verbindung und Kraftvermittler zwischen den Mauersteinen und ist damit Bestandteil des Tragwerks. In vielen Fällen stellt der Mauermörtel auch die Fugenoberfläche dar, d.h. es ist kein separater Verfugmörtel vorhanden.

3.3.1.3 Der Verfugmörtel stellt die Wetterhaut und Sichtfläche der Fuge dar und kann diesbezüglich besondere, optimierte Eigenschaften aufweisen.

3.3.2 **Eigenschaften**

3.3.2.1 Bei Fertigmörteln sind folgende Eigenschaften zu deklarieren:

- Mauerwerksart, für die der Mörtel geeignet ist
- Korngrössenbereich
- Verarbeitbarkeitszeit
- Lagerfähigkeit bei Werk trockenmörteln.

3.3.2.2 Folgende Kennwerte sind zu deklarieren (Fertigmörtel) bzw. zu prüfen (Baustellenmischungen):

- Art des Mauermörtels gemäss Tabelle 4
- Druckfestigkeit nach 28 Tagen
- Elastizitätsmodul nach 28 Tagen
- Wasseraufnahme.

3.3.2.3 Folgende Mörtel Eigenschaften sind zu berücksichtigen:

- Gehalt an löslichem Natrium und Kalium (siehe Ziffer 3.3.4.3)
- Tendenz zur Bildung von Kalkaussinterungen
- Nässe- und Frostbeständigkeit bei Einsatz in bewitterten Bereichen.

3.3.3 Mindestanforderungen an die Mörtelfestigkeit

- 3.3.3.1 Die Festigkeit des Mauermörtels ist auf die Verbandsart und die zu verwendenden Mauersteine abzustimmen. Bei mörtelreichen Verbandsarten (A, B, C, D) ist eine Mörteldruckfestigkeit f_{mk} zwischen 10 und 20 N/mm² anzustreben. Bei feinfugigem Quadermauerwerk (Typ E, Fugenbreite < 1 cm) muss die Mörteldruckfestigkeit $f_{mk} > 5$ N/mm² betragen. Ausnahmen sind zulässig, wenn sie ausreichend begründet sind.
- 3.3.3.2 Die Festigkeit des Verfugmörtels soll nicht grösser als die Festigkeit des Mauermörtels sein.
- 3.3.3.3 Bezüglich Dauerhaftigkeit muss der Mörtel unter den vorgängig zu definierenden Expositionsklassen eine ausreichende Beständigkeit aufweisen.

3.3.4 Besondere Anforderungen

- 3.3.4.1 Der Mauermörtel soll deformierbarer und weicher sein als die Mauersteine. Der Elastizitätsmodul des Mauermörtels soll tiefer liegen als der Elastizitätsmodul des Mauersteins.
- 3.3.4.2 Wasseraufnahme und Wasserabgabeverhalten des Mauermörtels sowie des Verfugmörtels sollen so eingestellt werden, dass sich daraus keine beschleunigte Verwitterung der Mauersteine ergibt (z. B. Staunässe im Naturstein über zu dichter Fuge). Diese Eigenschaften lassen sich bei der Herstellung des Mörtels wie folgt beeinflussen:
- Änderung des Verhältnisses Kalk/Zement
 - Änderung des Bindemittelgehalts
 - Änderung der Anmachwassermenge
 - Zugabe von hydraulisch wirkenden Zusätzen (Puzzolane, Ziegelschrot, Schlacke usw.)
 - Änderung der Kornzusammensetzung (Siebkurve)
 - Einsatz von Zusatzmitteln.
- 3.3.4.3 Die Bindemittel zur Herstellung der Mauer- und Verfugmörtel müssen auf die verwendeten Mauersteine abgestimmt werden. Bei Verwendung von hydraulischen Bindemitteln ist auf einen möglichst geringen Gehalt an löslichen Natrium- und Kaliumsalzen zu achten. Gängige Zemente weisen einen zu hohen Anteil solcher Salze auf. Verwendbare Bindemittel sind: natursteinverträgliche Zemente, Puzzolanzemente («Trasszemente»), hydraulische Kalke, Weisskalkhydrat, Sumpfkalk sowie besondere Bindemittel in Fertigmörteln.
- 3.3.4.4 Zusatzmittel (Frostschutzmittel, Verzögerer, Verflüssiger usw.) dürfen auf die verwendeten Mauersteine keinen schädlichen Einfluss haben.
- 3.3.4.5 Das Grösstkorn der Zuschlagstoffe soll einen Drittel bis höchstens die Hälfte der Fugendicke messen. Die Zuschlagstoffe dürfen keine quellfähigen Tonanteile und organischen Stoffe enthalten.
- 3.3.4.6 Das Anmachwasser für die Mörtelherstellung darf keine schädlichen Beimengungen enthalten.
- 3.3.4.7 Mauermörtel können auf der Baustelle hergestellt werden; Tabelle 4 gibt mögliche Mischungsverhältnisse an.

Tabelle 4: Mögliche Mischungsverhältnisse für Mauermörtel (Volumenprozent)

Komponente Kalk	Sumpfkalk, Kalkzement	Puzzolanerde	Hydraulischer Kalk	Puzzolanzement (Trasszement)	Zement*	Sand
Reiner Kalkmörtel	3–4					8–10
Trass-Kalkmörtel	2–2,5	1			1	8–10
Hydraulischer Kalkmörtel			2			6
Kalkzementmörtel			2–1		1–2	8
Puzzolanzementmörtel		1–0		2–3		8
Zementmörtel*					2	8

* Zement ist in Mauermörteln für Natursteinmauerwerke nur mit Vorsicht einzusetzen (siehe Ziffer 3.3.4.3). Reine Zementmörtel entwickeln in der Regel zu hohe Druckfestigkeiten (siehe Ziffer 3.3.3.1) und können grössere Mengen löslichen Kalk freisetzen.

- 3.3.4.8 Der Mauermörtel muss eine der Anwendung angemessene Beständigkeit aufweisen (Nässe, Frost).
- 3.3.4.9 Bildet der Mauermörtel die Fugenoberfläche, dann muss das Material eine dem Einsatzort und der Exposition angemessene Beständigkeit aufweisen (Nässe, Frost).
- 3.3.4.10 Wird in einem separaten Arbeitsgang Verfugmörtel eingesetzt, dann muss auch der Verfugmörtel materialtechnisch auf die Mauersteine abgestimmt werden. Anforderungen bezüglich Funktion und Dauerhaftigkeit sind zu definieren.

3.3.5 **Bewegungsfugen (Kittfugen)**

Werden Bewegungsfugen geschlossen, dann dürfen nur natursteinverträgliche Kittre verwendet werden, d. h. es dürfen keine Kittre verwendet werden, die über die Absonderung von Substanzen zu Verfärbungen an den Mauersteinen führen.

3.4 **Füllbeton, Hinterfüllbeton (gemischte Bauweise Beton/Naturstein)**

- 3.4.1 Natursteinmauerwerk kann in Kombination mit Beton erstellt werden. Es sind Mauersteinarten zu wählen, welche sich mit normalem Beton vertragen (Granite, Gneise, Hartsandsteine, Kieselkalke usw.) oder es sind für den Beton natursteinverträgliche Zementsorten einzusetzen.
- 3.4.2 Stellt der Naturstein nur eine Verblendung dar, dann sind die gültigen Normen bezüglich Beton (Norm SIA 262) zu beachten. Das Schwindverhalten des Betons und der Wasserhaushalt im Gesamtmauerwerk sind zu berücksichtigen.
- 3.4.3 Stellt das Natursteinmauerwerk bei rückseitig anfallender Feuchte (Böschungsmauern) die Tragstruktur dar, soll der Hinterfüllbeton sickertauglich sein. Die Hinterfüllung muss ausreichend dick sein (20–40 cm) und separat entwässert werden, um Kalkausblühungen an der Maueroberfläche zu verhindern.

3.5 **Bewehrungs- und Vorspannsysteme**

- 3.5.1 Natursteinmauerwerk ist in der Regel nicht bewehrt. Die Erstellung bewehrter und vorgespannter Natursteinmauerwerke ist möglich. Die Tauglichkeit der Systeme ist gemäss Norm SIA 266/1 nachzuweisen.
- 3.5.2 Die einzusetzenden Werkstoffe müssen auf die konkreten Verhältnisse bezüglich Funktionserfüllung und Dauerhaftigkeit abgestimmt sein. Da in Mauerwerken nicht mit einer dauerhaften Passivierung wie im Beton gerechnet werden kann, müssen rostfreie Stahlsorten oder andere ausreichend beständige Materialien, wie beispielsweise faserverstärkte Kunststoffe, eingesetzt werden.

3.6 **Ergänzungsbauteile**

- 3.6.1 Die Verbindungen von Natursteinmauerwerk mit Ergänzungsbauteilen aus anderen Baustoffen (z. B. Holz, Beton, Stahl) müssen so konstruiert sein, dass die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit des Gesamten gewährleistet sind.
- 3.6.2 Natursteinmauerwerke können als Aussenschalen in Zweischalentechnik erstellt werden, analog einem Sichtsteinmauerwerk mit künstlichen Steinen. Natursteinverblendungen müssen ab 2 m Höhe mit mechanischen Verankerungen in die Tragkonstruktion rückverankert werden. Für die hierzu verwendeten Verankerungen gelten die Grundsätze der Norm SIA 179 und die Anforderungen der Norm SIA 266/1.

4 TRAGWERKSANALYSE UND BEMESSUNG

4.1 Allgemeines

- 4.1.1 Die Tragwerksanalyse umfasst die anhand eines Tragwerksmodells vollzogene Ermittlung von Auswirkungen wie Schnittgrössen, Auflagerreaktionen und Verformungen. Tragwerke aus Mauerwerk werden dabei im Allgemeinen in einzelne Pfeiler, Wände oder Gewölbe aufgeteilt.
- 4.1.2 Bei der Modellbildung und Systemabgrenzung sind die statischen und geometrischen Randbedingungen sowie die Weiterleitung der Auflagerkräfte in angrenzende Bauteile zu beachten. Wird ein Zusammenwirken von benachbarten Bauteilen angenommen, ist die Übertragung der Kräfte zwischen den Bauteilen sicherzustellen.
- 4.1.3 Grundsätzlich sind ein Nachweis der Tragsicherheit und ein Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu erbringen.
- 4.1.4 Ein Nachweis kann entfallen, wenn feststeht, dass er nicht massgebend wird.
- 4.1.5 Für jeden Nachweis ist von einem Gleichgewichtszustand der äusseren und inneren Kräfte auszugehen.
- 4.1.6 Beim Nachweis der Tragsicherheit ist dem Einfluss von Streuungen der wichtigsten Einflussgrössen, wie zum Beispiel Materialeigenschaften, Geometrie, Randbedingungen (Lagerung) sowie Grösse und Ort der Einwirkungen, Rechnung zu tragen.
- 4.1.7 Die Kohäsion in der Lagerfuge und die Zugfestigkeit des Mauerwerks sind zu vernachlässigen.
- 4.1.8 Zwangsschnittgrössen aus aufgezwungenen oder behinderten Verformungen können für den Nachweis der Tragsicherheit vernachlässigt werden, falls für alle Tragwerksbereiche ein ausreichendes Verformungsvermögen gewährleistet ist und wenn die Auswirkungen 2. Ordnung vernachlässigbar sind. In diesem Fall kann der Nachweis der Tragsicherheit nach den Grenzwertsätzen der Plastizitätstheorie erfolgen.
- 4.1.9 Der Nachweis der Tragsicherheit erfolgt grundsätzlich nach dem unteren Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie. Dabei ist von einem Gleichgewichtszustand der inneren und äusseren Kräfte auszugehen, der die statischen Randbedingungen erfüllt und die Fliessbedingungen nirgends verletzt.
- 4.1.10 Ein Vorgehen nach dem oberen Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie (kinematische Methode) ist dann zulässig, wenn durch Erfahrung bekannt ist, dass sich die angenommenen Mechanismen im Bruchzustand tatsächlich einstellen können.
- 4.1.11 Die Baugrund-Bauwerk-Wechselwirkung ist zu beachten.
- 4.1.12 Bei schlanken druckbeanspruchten Bauteilen sind die Auswirkungen 2. Ordnung zu beachten. Zwangsschnittgrössen sowie die statischen und geometrischen Randbedingungen sind möglichst wirklichkeitsnah zu erfassen.
- 4.1.13 Die Nachweise gemäss Ziffern 4.3 und 4.4 gelten für einschaliges Mauerwerk. Bei mehrschaligem Aufbau ist zusätzlich der Verbund zwischen den verschiedenen Schalen nachzuweisen.
- 4.1.14 Die Nachweise sind gemäss den Ziffern 4.3 und 4.4 unter Verwendung der in Ziffer 4.2 festgelegten Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften zu führen.

4.2 Bemessungswerte

4.2.1 Tragsicherheit

- 4.2.1.1 Der Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen beträgt:

$$f_{xd} = \eta_1 \frac{f_{xk}}{\gamma_M} \quad (3)$$

$$\gamma_M = 2,5.$$

4.2.1.2 Der Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Stossfugen beträgt:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} \quad (4)$$

$$\gamma_M = 2,5.$$

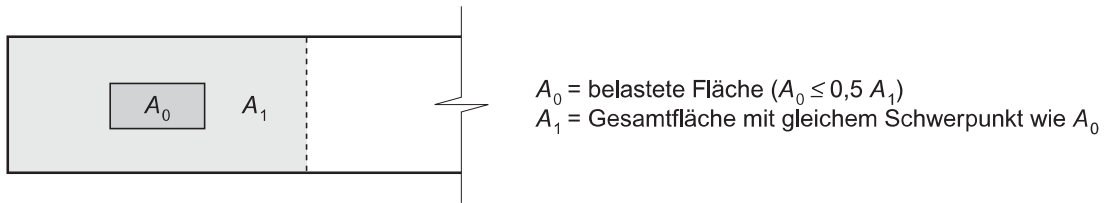
Ohne genauere Untersuchungen kann für Mauerwerk der Verbandsarten D und E der Wert $f_{yk} = 0,5 f_{xk}$ angenommen werden.

4.2.1.3 Die Umrechnungsfaktoren in (3) betragen:

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{im Allgemeinen}$$

$$\eta_1 = 0,5 (1 + \sqrt{A_1/A_0}) \leq 1,5 \quad \text{für zentrische Teilflächenbelastung gemäss Figur 7}$$

Figur 7: Teilflächenbelastung



4.2.1.4 Der Bemessungswert des Koeffizienten der inneren Reibung in den Lagerfugen beträgt

$$\mu_d = \frac{\mu_k}{\gamma_M} \quad (5)$$

$$\gamma_M = 1,2.$$

4.2.1.5 Der Bemessungswert des Elastizitätsmoduls für Beanspruchungen senkrecht zu den Lagerfugen beträgt

$$E_{xd} = \frac{E_{xk}}{\gamma_M} \quad (6)$$

$$\gamma_M = 2,0.$$

4.2.1.6 Für Trockenmauerwerk ist das Raumgewicht des Mauerwerks entsprechend der Ausführung des Mauerwerkverbands zu reduzieren. In der Regel kann mit 2/3 des Raumgewichts der verwendeten Steine gerechnet werden.

4.2.2 Gebrauchstauglichkeit

4.2.2.1 Für Langzeitwirkungen sind die mit E_{xk} und G_k ermittelten Verformungen mit dem Faktor $(1+\varphi)$ zu vergrössern. Als Endkriechwert darf in der Regel $\varphi_\infty = 1$ angenommen werden.

4.2.2.2 Richtwerte für Gebrauchsgrenzen wie Rissbreite, Stockwerkverschiebung oder Randdehnung sind projektspezifisch festzulegen. Sie können sinngemäss aus Ziffer 4.2.2.2, Tabelle 9, der Norm SIA 266 abgeleitet werden.

4.2.2.3 Feine Risse ($< 0,5$ mm) entlang den Fugen gehören zum System. Sie haben keinen entscheidenden Einfluss auf die Mauerwerksfestigkeit.

4.3 Nachweis der Tragsicherheit

4.3.1 Allgemeines

4.3.1.1 Als statisch zulässiger Spannungszustand ist von einem räumlichen Verlauf der Drucklinie im Mauerwerk, die in jedem Querschnitt durch Grösse der Kraft, geometrische Lage und räumliche Richtung definiert ist, auszugehen. Unter Annahme eines starr-plastischen Materialverhaltens ohne Zugfestigkeit gemäss Figur 11 wird definiert diese räumliche Drucklinie einen mitwirkenden Mauerwerkskörper. In den massgebenden Schnitten dieses Mauerwerkskörpers ist zu prüfen, ob die Bruchbedingung gemäss Figur 11 nicht verletzt wird.

4.3.1.2 Bei bewitterten Mauerwerksoberflächen der Expositionsclassen XF1 und XF3 ist die Wanddicke zur Berücksichtigung der Abwitterung auf jeder bewitterten Seite um die halbe Fugendicke oder mindestens 5 mm zu reduzieren.

4.3.1.3 Bei den Verbänden C, D und E wird der Tragwiderstand des Mauerwerks durch die Lage und Richtung der Wirkungslinie der Resultierenden in der Mauerwerksschale beeinflusst. Als Bezugssystem dienen die in Figur 1 definierten Achsen x, y, z. Es werden folgende Fälle unterschieden:

- Wirkungslinie der Resultierenden senkrecht zur Lagerfugenebene (x-Richtung) Ziffer 4.3.2
- Wirkungslinie der Resultierenden in der Ebene der Mauerwerksschale (x-y Ebene) Ziffer 4.3.3
- Beliebige Lage und Richtung der Wirkungslinie der Resultierenden Ziffer 4.3.4

4.3.1.4 Bei den Verbänden A und B existieren keine durchgehenden Lagerfugen. Der Tragwiderstand des Mauerwerks ist unabhängig von der Richtung der Wirkungslinie der Normalkraft und wird nur durch die Lage der Wirkungslinie im Querschnitt beeinflusst. Der Nachweis der Tragsicherheit erfolgt in jedem Fall gemäss Ziffer 4.3.2.

Die Übertragung der Kräfte in angrenzende Bauteile wie Decken oder Fundamente ist unter Berücksichtigung eines vorsichtig gewählten Reibungswinkels in den Fugen nachzuweisen.

4.3.2 Exzentrische Normalkraftbeanspruchung

4.3.2.1 Die Tragsicherheit wird im Allgemeinen nach der Theorie 2. Ordnung am verformten System unter Berücksichtigung des nichtlinearen Momenten-Krümmungs-Verhaltens des Mauerwerks nachgewiesen. Aufgezwungene Verformungen sind zu berücksichtigen.

4.3.2.2 Für den Nachweis der Tragsicherheit kann vereinfacht von einer rechteckförmigen Spannungsverteilung im Querschnitt gemäss Figur 8 ausgegangen werden. Es ergibt sich die Exzentrizität-Normalkraft-Interaktion:

$$e_{zd} = \frac{M_{yd}}{N_{xd}} \leq \frac{t_w}{2} \left(1 - \frac{N_{xd}}{l_w t_w f_{xd}} \right) \quad (7)$$

4.3.2.3 Die Exzentrizität der Normalkraft ist wie folgt beschränkt:

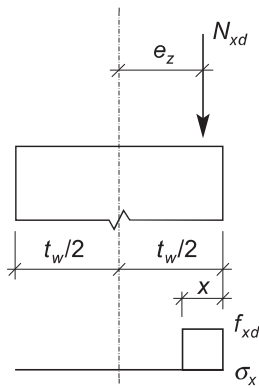
$$e_{zd} = \frac{M_{yd}}{N_{xd}} \leq \begin{cases} \frac{3}{8} t_w & \text{für } t_w \leq 0,20 \text{ m} \\ \frac{t_w}{2} - 25 \text{ mm} & \text{für } t_w > 0,20 \text{ m} \end{cases} \quad (8)$$

Die aus den Bedingungen (7) und (8) abgeleitete Fliessbedingung gemäss Figur 9 darf an keiner Stelle verletzt werden.

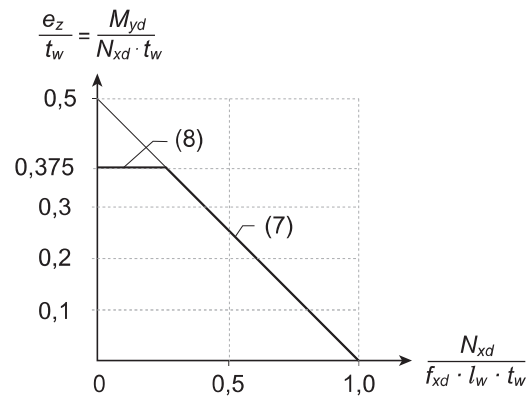
4.3.2.4 Das Verformungsvermögen des Mauerwerksquerschnitts kann aufgrund der Druckzonenhöhe x gemäss Figur 8 wie folgt bestimmt werden:

$$\begin{aligned} x_d = \frac{N_{xd}}{l_w f_{xd}} &\leq 0,25 t_w && \text{uneingeschränktes Verformungsvermögen} \\ x_d = \frac{N_{xd}}{l_w f_{xd}} &> 0,25 t_w && \text{Spröbruch} \end{aligned} \quad (9)$$

Figur 8: Querschnitt, Druckzone

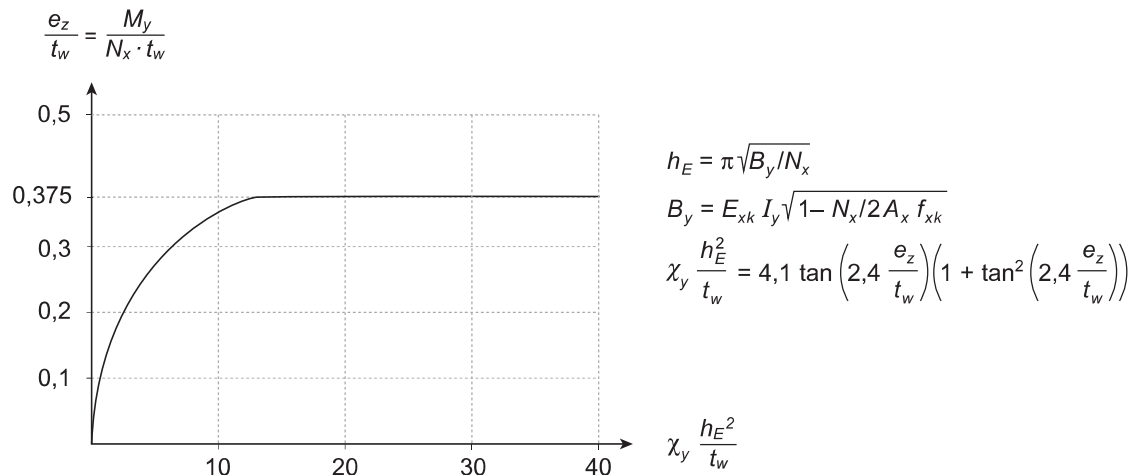


Figur 9: Exzentrizität-Normalkraft-Interaktion



4.3.2.5 Für Berechnungen 2. Ordnung kann bei den Verbandsarten C, D und E mit der Exzentrizität-Krümmungs-Beziehung gemäss Figur 10 gerechnet werden.

Figur 10: Exzentrizität-Krümmungs-Beziehung



Vereinfacht kann der Einfluss der Normalkraft auf die Biegesteifigkeit vernachlässigt und mit

$$h_E = \pi \sqrt{\frac{E_{xk} I_y}{N_x}}$$

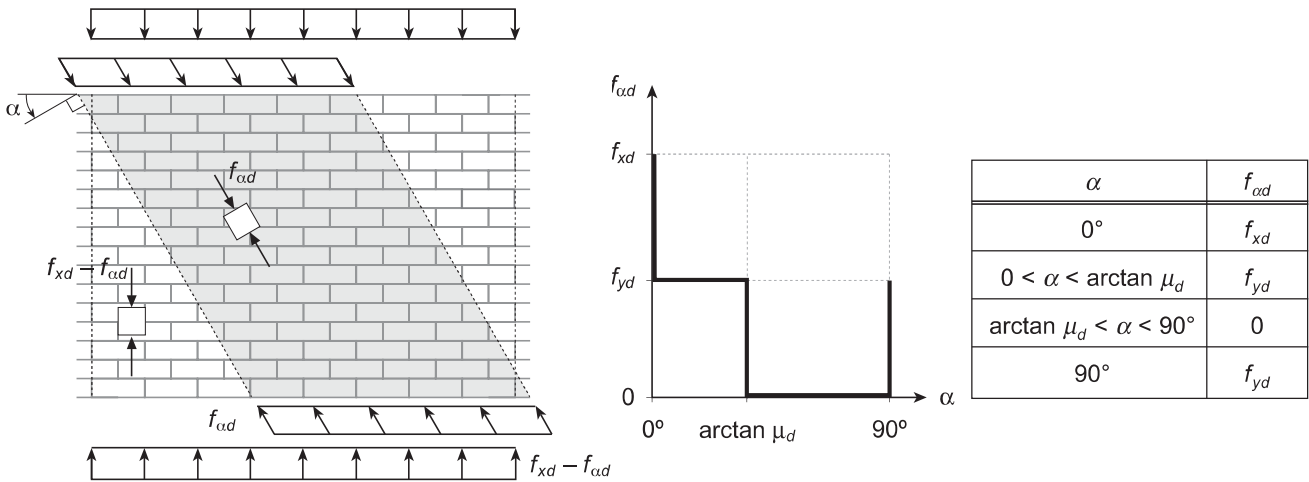
gerechnet werden.

4.3.2.6 Bei Wänden und Pfeilern, die am oberen und unteren Rand senkrecht zu ihrer Ebene gehalten sind, kann die Tragsicherheit gemäss Anhang D nachgewiesen werden.

4.3.3 Zentrische Normalkraft mit Schub

4.3.3.1 Im Allgemeinen ist von einem statisch zulässigen Spannungszustand auszugehen. Die Tragsicherheit gilt als nachgewiesen, wenn die Druckfestigkeit gemäss Figur 11 in keinem Punkt überschritten wird. Geneigte Druckspannungen bis zu einem Betrag f_{ad} dürfen mit senkrecht zu den Lagerfugen wirkenden Druckspannungen bis zu einem Betrag $f_{xd} - f_{ad}$ überlagert werden.

Figur 11: Überlagerung von Druckspannungsfeldern und Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Druckrichtung für Verbandsarten C, D, E



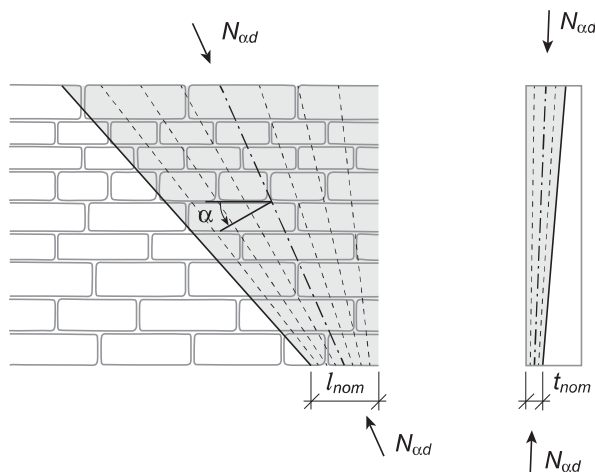
4.3.3.2 Bei Wänden kann der Nachweis der Tragsicherheit gemäss Anhang D erfolgen.

4.3.4 Exzentrische Normalkraft mit Schub

4.3.4.1 Es liegt ein räumlicher Verlauf der Drucklinie im Mauerwerk vor. Der massgebende mitwirkende Mauerwerksquerschnitt an der Stelle des minimalen Randabstands der Drucklinie wird gemäss Figur 12 ermittelt. In diesem Querschnitt l_{nom} t_{nom} ist zu prüfen, ob die Fließbedingung gemäss Figur 11 nicht verletzt wird.

4.3.4.2 Zusätzlich ist gegebenenfalls ein Nachweis der Tragsicherheit 2. Ordnung am verformten Tragwerk erforderlich. Ohne genauere Untersuchungen wird der Nachweis gemäss Ziffer 4.3.2 an einem reduzierten Mauerwerksquerschnitt mit der minimalen mitwirkenden Länge l_{nom} gemäss Figur 12 geführt.

Figur 12: Äquivalenter Spannungsblock für allgemeine Lage und Richtung der Drucklinie



4.3.4.3 Bei Wänden kann der Nachweis der Tragsicherheit gemäss Anhang D erfolgen.

4.3.5 **Querbelastete Mauerwerkswände**

4.3.5.1 Sofern die Bedingungen

$$h_w \leq 15 t_w \quad (10)$$

und

$$w_d \leq 0,002 h_{cr} \quad (11)$$

erfüllt sind, dürfen die Effekte 2. Ordnung auf den Tragwiderstand vernachlässigt werden. Die Durchbiegung w_d ist mit Bemessungswerten nach Elastizitätstheorie 1. Ordnung zu ermitteln.

4.3.5.2 Als statisch zulässige Spannungszustände in unbewehrtem Mauerwerk sind Druckgewölbe anzunehmen.

4.3.5.3 Werden Druckgewölbe quer zu den Stossfugen angenommen, so sind diese vollfugig zu vermörteln.

4.3.5.4 Die Tragsicherheit gilt als nachgewiesen, wenn die Druckfestigkeit in den Druckgewölben nicht überschritten wird.

4.3.5.5 Die Weiterleitung der Gewölbekräfte in den angrenzenden Bauteilen ist sicherzustellen.

4.3.5.6 Reicht der Querbiegezugwiderstand des unbewehrten Mauerwerks nicht aus, sind konstruktive Massnahmen zu ergreifen, oder es ist eine Bewehrung nachzuweisen. Im Bauzustand darf mit dem Bemessungswert der Biegezugfestigkeit gerechnet werden:

$$f_{xd} = \frac{f_{xk}}{\gamma_M}$$

$$\gamma_M = 2,5.$$

4.3.6 **Gewölbe**

4.3.6.1 Der Nachweis der Tragsicherheit von Gewölben erfolgt gemäss Ziffern 4.3.2–4.3.4. Der Einfluss 2. Ordnung ist gegebenenfalls zu berücksichtigen.

4.3.6.2 Gewölbe sind grundsätzlich für unbeschränktes Verformungsvermögen gemäss (9) zu bemessen. Ausnahmen sind möglich, bedingen jedoch besondere Untersuchungen.

4.3.7 **Stützbauwerke**

4.3.7.1 Der Nachweis der Tragsicherheit von Stützbauwerken erfolgt gemäss Norm SIA 267.

4.3.7.2 Für den Nachweis der Tragsicherheit ist von einem erhöhten aktiven Erddruck E_a auszugehen. Die Wechselwirkung zwischen Wandverformung und Erddruck ist zu berücksichtigen.

4.3.7.3 Die innere Tragsicherheit des Mauerwerks ist als Grenzzustand Typ 2 gemäss Ziffern 4.3.1–4.3.5 nachzuweisen. Die Eigenschaften des Bauwerks, der Verbandsart und die Randbedingungen sind angemessen zu berücksichtigen.

4.4 **Nachweis der Gebrauchstauglichkeit**

4.4.1 Die Verformungen sind für quasi-ständige Lastfälle zu ermitteln.

4.4.2 Die rechnerische Rissbreite in der Lagerfuge kann als über die Schichthöhe h_0 integrierte Randdehnung aus der maximalen Krümmung und der zugehörigen Exzentrizität der Normalkraft bestimmt werden, wobei eine linear-elastische Druckspannungsverteilung angenommen werden darf. Dabei darf die maximale Krümmung nach Elastizitätstheorie 1. Ordnung bestimmt werden.

4.4.3 Bei Gewölben ist unter quasi-ständigen Lasten ein rechnerisch ungerissenes Mauerwerk anzustreben. Unter häufigen Lasten gelten die projektspezifisch festgelegten Anforderungen an die Beschränkung der Rissbreiten.

4.4.4 Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Stützbauwerken ist gemäss Norm SIA 267 zu führen. Bei Schwergewichtsmauern ohne besondere Anforderungen hinsichtlich Setzungen und Verschiebungen kann auf den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit verzichtet werden, wenn eine ausreichende Tragsicherheit nachgewiesen wurde und die Resultierende der Einwirkungen innerhalb des Kerns der Fundamentsohlfläche liegt.

4.5 Bemessungssituation Erdbeben

4.5.1 Schnittgrössen und Verformungen sind linear-elastisch, unter Verwendung mittlerer Steifigkeitswerte zu bestimmen.

4.5.2 Unbewehrte Wände aus Natursteinmauerwerk dürfen nicht zur Aussteifung von Gebäuden verwendet werden

- für alle Bauwerke der Bauwerksklasse III
- für Bauwerke der Bauwerksklasse II in Erdbebenzone 3.

4.5.3 Für Schubwände in Gebäuden, die beim Nachweis der Tragsicherheit berücksichtigt werden, gelten folgende Bedingungen:

- $t_w \geq 150 \text{ mm}$
- $h_w \leq 17 t_w$.

4.5.4 Für Stützbauwerke sind die Nachweise gemäss Norm SIA 267 zu führen.

4.5.5 Der Verhaltensbeiwert gemäss Norm SIA 261 beträgt $q = 1,5$.

5 KONSTRUKTIVE DURCHBILDUNG

5.1 Grundsätze

Die Wahl der Verbandsart und der Mauerwerksgeometrie richtet sich nach dem Zweck, den das Mauerwerk zu erfüllen hat. Die Bemessungskriterien (Tragsicherheit) sowie Kriterien zur Sicherung der angestrebten Lebensdauer (Dauerhaftigkeit) haben Priorität. Gestalterische Aspekte müssen mit diesen Kriterien in Einklang stehen.

5.2 Zusammenwirken der Mauerwerkskomponenten im Verband

- 5.2.1 Die Mauersteine müssen mit oder ohne Mauermörtel sowie allenfalls Füllbeton, Bewehrungs- und Ergänzungsbauteilen derart miteinander verbunden werden, dass das Mauerwerk als Ganzes seine Aufgabe erfüllen kann.
- 5.2.2 Die Mauersteine müssen derart gefügt sein, dass das Mauerwerk in Längsrichtung und Querrichtung zum Mauerwerksverlauf einen genügenden inneren Verbund aufweist (Richtwerte in Ziffer 6.4.2).
- 5.2.3 Lagerhafte Gesteine (vgl. Ziffer 5.3.3) sind derart im Mauerwerk einzufügen, dass bezüglich Festigkeit und Dauerhaftigkeit keine Nachteile entstehen.

5.3 Wahl der Baustoffe und der Verbandsart

- 5.3.1 Die Baustoffe müssen für die vorgesehene Verwendung im Bauwerk geeignet sein. Die Tauglichkeit der Baustoffe ist durch Prüfungen und/oder vergleichbare Referenzbauten nachzuweisen.
- 5.3.2 In stark bewitterten Bereichen sowie im Wasserbau dürfen nur nässe- und frostbeständige Baustoffe eingesetzt werden. Bei vor Durchnässung geschützten, z.B. überdachten Bauwerken bzw. von Grundfeuchte geschützten, Mauerwerken dürfen auch weniger beständige Baustoffe eingesetzt werden. Traditionelles Wissen um korrekte Verarbeitung und geeignete Anwendung ist zu berücksichtigen (z.B. bei Verwendung der schweizerischen Sandsteine gemäss Anhang C).
- 5.3.3 Verschiedene Gesteine (Schiefer, Gneise, bestimmte Sandsteine und Kalke) weisen gerichtete Gefügestrukturen auf, die sich richtungsabhängig auf die Festigkeit und Dauerhaftigkeit auswirken. Diese richtungsabhängig unterschiedlichen Eigenschaften müssen bei der Wahl eines Gesteines für einen bestimmten Zweck angemessen berücksichtigt werden.
- 5.3.4 Die Baustoffe müssen bezüglich chemischen und mechanischen Eigenschaften untereinander kompatibel sein. Zudem sollen die Baustoffe eine vergleichbare Dauerhaftigkeit aufweisen bzw. soll der Ersatz einer weniger dauerhaften Komponente mit vertretbarem Aufwand möglich sein.
- 5.3.5 Die örtlich vorliegenden klimatischen Bedingungen sind bei der Wahl der Baustoffe zu berücksichtigen.
- 5.3.6 Im Wasserbau dürfen nur nässebeständige Gesteinsarten und Mauermörtel eingesetzt werden. Auf eine ausreichende Frostbeständigkeit der verwendeten Baustoffe im wassergesättigten Zustand ist hier besonders zu achten. Im Wasserbau ist zudem auf eine genügende Erosionsbeständigkeit zu achten.
- 5.3.7 Allenfalls eingesetzte Bewehrungen müssen korrosionsbeständig sein.
- 5.3.8 Die Wahl der Verbandsart erfolgt nach gestalterischen und technischen Kriterien. Tabelle 5 gibt hierzu Hinweise. Anhang A zeigt eine Reihe typischer Verbandsarten.

Tabelle 5: Erscheinungsbild und Eigenschaften möglicher Verbandsarten

Code	Bezeichnung	Erscheinungsbild	Tragwiderstand
A	Bollensteinmauerwerk	rustikal wirkendes Mauerwerk	allgemein geringer Tragwiderstand
B	Zyklopenmauerwerk	optisch lebhaft wirkendes Mauerwerk	mittlerer bis verhältnismässig geringer Tragwiderstand
B	Bruchsteinmauerwerk	optisch lebhaft wirkendes Mauerwerk	verhältnismässig geringer Tragwiderstand
C + D	Bruchstein-Schichtenmauerwerk	optisch ebenmässiges bis recht unregelmässiges, rustikales Mauerwerk	mittlerer bis hoher Tragwiderstand, Tragwiderstand stark abhängig von der natürlichen Bruchform der Mauersteine
D	Schichtenmauerwerk	optisch ebenmässiges Mauerwerk	hoher Tragwiderstand
E	Quadermauerwerk	optisch sehr ebenmässiges Mauerwerk	hoher bis sehr hoher Tragwiderstand
B–E	Blockmauerwerk	Erscheinung stark abhängig von Blockform und Art der Aufschichtung, allgemein grobe Erscheinung	Tragwiderstand gering bis mittel, in Ausnahmefällen hoch
A–E	Trockenmauerwerk	Optisch eben- bis unregelmässiges Mauerwerk, Erscheinung stark abhängig von der der Art und den Formaten der Mauersteine	mittlerer bis hoher Tragwiderstand, Tragwiderstand stark abhängig von der natürlichen Bruchform der Mauersteine
–	Steinkörbe (Gabionen)	Erscheinung je nach Grösse der Steinkörbe und Füllmaterial verschieden	Tragwiderstand gemäss Angaben der Steinkorbhersteller

- 5.3.9 Für schlanke, statisch höher beanspruchte Bauteile sind geschichtete Verbände (C, D, E) zu verwenden.
- 5.3.10 Der Bildung von Kalksinterläufen und Ausblühungen auf den Mauerwerksoberflächen ist durch eine geeignete Wahl des Mörtelbindemittels und durch konstruktive Massnahmen zu begegnen. Wird in kombinierter Bauweise (Naturstein/Beton) gearbeitet, ist diesem Aspekt wegen der grossen Zementmengen erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken.

5.4 Die Tragsicherheit beeinflussende Massnahmen

- 5.4.1 Die Baustofffestigkeiten und die resultierenden, verbandstypischen Mauerwerksfestigkeiten sind zu deklarieren und in den Ausführungsunterlagen festzuhalten.
- 5.4.2 Kräfte aufgelagerter Bauteile sind wenn möglich zentrisch ins Mauerwerk einzuleiten. Kantenpressungen sind zu vermeiden.
- 5.4.3 Feuchtigkeitssperrschichten sowie Dämmschichten (Wärme und Akustik) müssen die Übertragung auftretender Kräfte gewährleisten.
- 5.4.4 Bei Stützbauwerken ist auf eine ausreichende Mauerstärke des Mauerfusses zu achten. Der Schlankheitsgrad einer Mauer, d.h. das Verhältnis von Mauerstärke am Fuss zu Mauerhöhe, darf einen Wert von 0,15 nicht unterschreiten. Ein Schlankheitsgrad $\geq 0,3$ ist anzustreben.
- 5.4.5 Bei Stützbauwerken ist eine funktionstüchtige und spülbare Entwässerung vorzusehen.

5.5 Die Gebrauchstauglichkeit beeinflussende Massnahmen

5.5.1 Verformungen und Risse

- 5.5.1.1 Verformungen von Mauerwerk infolge Lasten, Kriechen, Schwinden und Temperaturänderungen sowie Zwängungen aus Verformungen angrenzender Bauteile sind bei der konstruktiven Durchbildung zu berücksichtigen.
- 5.5.1.2 Dem Einfluss unterschiedlichen Verformungsverhaltens verschiedener Baustoffe bzw. Bauteile ist Rechnung zu tragen.
- 5.5.1.3 Feine Risse in den Fugen gehören bei Natursteinmauerwerken zum System und stellen folglich keinen Mangel dar. Markante, z. B. quaderbrechende Risse sowie klaffende Fugenrisse, die das statische System verändern bzw. beeinträchtigen oder bezüglich Verwitterung problematisch werden können, sind zu vermeiden (siehe Ziffer 5.7.2).

5.5.2 Feuchteschutz und Entwässerung

- 5.5.2.1 Anhaltende Durchfeuchtung und Staunässe sind durch geeignete Massnahmen zu verhindern.
- 5.5.2.2 Simse, Gurtelemente sowie Abdeckplatten auf Mauerkronen müssen einen genügenden Überstand zur Mauerwerksflucht (≥ 4 cm) aufweisen und mit einer Tropfkante (Wassernase) versehen sein.
- 5.5.2.3 Stossfugen zwischen Abdeckplatten auf Mauerkronen müssen als dauerelastische Dichtfugen ausgebildet werden oder es müssen andere Massnahmen zur Verhinderung anhaltender Durchfeuchtung getroffen werden (z. B. Fugenbleche, Fugensteine, Abdichtungen). Mörtelfugen bieten keinen dauerhaften Feuchteschutz, da sie infolge der Wärmedehnung der Mauerkrone immer wieder aufreissen.
- 5.5.2.4 Mörtelfugen sind nicht wasserdicht. Mit elastischen Kitten verfügte Fugen dürfen nur dann als Feuchteschutzmassnahme gelten, wenn deren Kontrolle und Unterhalt langfristig gewährleistet werden kann.
- 5.5.2.5 Rückseitig erdberührte Mauern sind durch den Einbau einer Sickerschicht und bei Bedarf entsprechend dem Wasseranfall dimensionierte, spülbare Drainagerohre zu entwässern. Die Sickerschicht ist filterstabil auszubilden. Für Blocksteinmauerwerke gelten die Angaben unter Ziffer 5.6.4.
- 5.5.2.6 Bei traditionellen Trockenmauern kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Entwässerung über das Trockenmauerwerk erfolgt. Der Eintrag von feinkörnigem Bodenmaterial in das Trockenmauerwerk ist zu verhindern.
- 5.5.2.7 Mauerwerke sind mit geeigneten Massnahmen gegen die schädigenden Wirkungen kapillar aufsteigender Grundfeuchte zu schützen, besonders bei Verwendung von Gesteinen mit beschränkter Verwitterungsresistenz (z. B. Sandsteine). Der Mauermörtel ist durch eine die Kapillaren unterbrechende Schicht von der Grundfeuchte zu trennen.

5.5.3 Begrünung

- 5.5.3.1 Begrünungen von Mauerwerken dürfen die Entwässerung der Mauern nicht behindern. Das Überhandnehmen von Bewuchs ist mit geeigneten Vorgaben im Unterhaltsplan zu verhindern.
- 5.5.3.2 Leichter Bewuchs (z. B. Kräuter, Moos, Flechten) hat keinen entscheidenden Einfluss auf ein Natursteinmauerwerk. Bewuchs mit verholzendem Wurzelwerk hingegen lockert den Mauerwerksverband und schwächt das Mauerwerk. Trockenmauerwerk nimmt bei verholzendem Bewuchs rasch Schaden.

5.5.4 Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen




- 5.5.4.1 An exponierten Lagen kann ein Graffiti-Schutz der Oberfläche sinnvoll sein. Ein gewähltes System darf das Austrocknungsverhalten und die optische Erscheinung der Mauerwerksoberfläche nicht nachteilig beeinflussen.

- 5.5.4.2 Anstriche zu Schutz- und Gestaltungszwecken dürfen keine nachteiligen Folgen für das Mauerwerk haben und müssen entfernbar bzw. erneuerbar sein.
- 5.5.4.3 Eindringende Schutzbehandlungen (z.B. Hydrophobierungen) sind nur in Ausnahmefällen zu befürworten. Die Massnahme ist technisch zu begründen und bezüglich Dauerhaftigkeit zu bewerten.

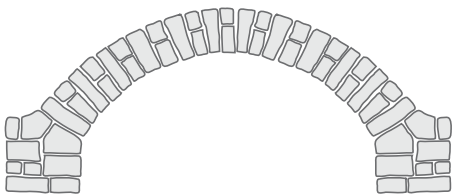
5.6 Mauerwerkskonstruktionen

Die Anwendungsgebiete und damit die Konstruktionsarten von Natursteinmauerwerk sind sehr vielfältig. Nachfolgend werden die heute gängigen Konstruktionen aufgeführt. Abweichende Konstruktionen sind möglich, wenn deren Tauglichkeit ausreichend nachgewiesen wird.

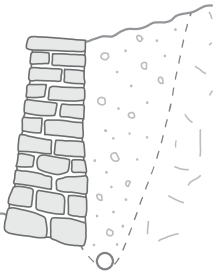
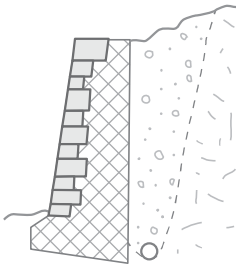
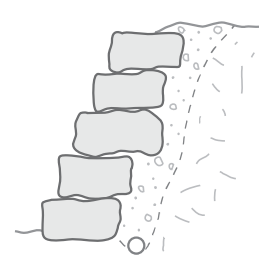
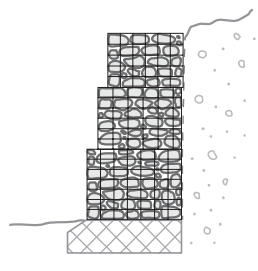
Figur 13: Konstruktionen doppelhäufiges Mauerwerk

Natursteinmauerwerk, einschalig, voll durchgemauert, auch als Trockenmauerwerk	Natursteinmauerwerk, mehrschalig (Kernmauerwerk aus kleinen Bruchsteinen), auch als Trockenmauerwerk	Natursteinmauerwerk, mehrschalig (Kern ausbetoniert)
		

Figur 14: Gewölbemauerwerk



Figur 15: Konstruktionen einhäufiges Mauerwerk

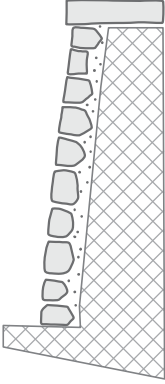
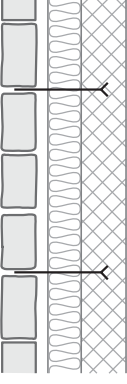
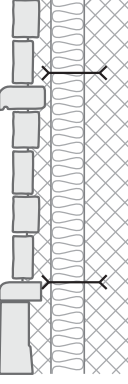

Mauerwerk, einschalig, voll durchgemauert, auch als Trockenmauerwerk	kombiniertes Naturstein-Betonmauerwerk	Blocksteinmauerwerk, im Sickerbeton versetzt oder trocken aufgeschichtet	Steinkorbmauerwerk (Gabionen), als Hangsicherung und Schallschutzelement
			

- 5.6.1 **Doppelhäufiges Mauerwerk: beidseitig frei stehendes Mauerwerk, z.B. für aufgehende Wände, Pfeiler**
- 5.6.1.1 Für die Konstruktion von doppelhäufigem Mauerwerk ist der Einsatz aller Verbandsarten möglich, wobei geschichtete Verbände (C, D, E) zu bevorzugen sind bzw. die Mauerdicke entsprechend zu bemessen ist.
- 5.6.1.2 Wird der Mauerwerkskern ausbetoniert, ist die Verträglichkeit der Mauersteine mit dem Beton sicherzustellen. Zudem sind Massnahmen zur Verhinderung von Ausblühungen (z. B. Kalkausblühungen) zu treffen.
- 5.6.1.3 Der Querverband mehrschaliger Querschnitte ist durch den Einbau einer genügenden Anzahl Bindersteine bzw. eingesetzter Querarmierungen sicherzustellen.
- 5.6.2 **Gewölbemauerwerk: Mauerwerk für frei gespannte Bögen und Gewölbe**
- Für die Konstruktion von Gewölben ist hochwertiges Mauerwerk in geschichtetem Verband (C, D, E) einzusetzen. Deren Konstruktion erfordert besondere Kenntnisse.
- 5.6.3 **Einhäufiges Mauerwerk: einseitig erdberührtes Mauerwerk für Stütz- bzw. Böschungsmauern**
- 5.6.3.1 Stütz- und Böschungsmauern aus Natursteinmauerwerk sind unter Berücksichtigung der geotechnischen Rahmenbedingungen als Schwergewichtsmauern zu dimensionieren (siehe Norm SIA 267). Für die Konstruktion von Stützmauern ist der Einsatz aller Verbandsarten möglich, wobei geschichtete Verbände (C, D, E) zu bevorzugen sind. Die Fundationsflächen sind mit mindestens 3° bergseitig fallend zu erstellen. Die Fundation ist frostsicher auszuführen.
- 5.6.3.2 Es sind ausreichende Massnahmen bezüglich Feuchteschutz und Entwässerung zu treffen (siehe Ziffer 5.5.2). Da ein vollständiger Feuchteschutz in dieser Bauweise in der Regel nicht möglich ist, dürfen nur Gesteine mit ausreichender Verwitterungsresistenz eingesetzt werden.
- 5.6.3.3 Für kombiniertes Naturstein-Betonmauerwerk dürfen nur Gesteine verwendet werden, die sich mit Beton chemisch vertragen und eine hohe Beständigkeit aufweisen. Auch bei ausreichend beständigen Gesteinen ist die Verfärbungsgefahr abzuklären (Rostbildung).
- 5.6.4 **Blocksteinmauerwerke**
- 5.6.4.1 Für Blocksteinmauerwerke sind rohe Blöcke (ca. 300–800 kg) zu verwenden. Die Anforderungen an das Material sind gemäss Tabelle 1 zu definieren.
- 5.6.4.2 Bei höheren Blockmauern (> 1,5 m), schwierigen Baugrundverhältnissen oder Böschungsneigungen über 25° muss in jedem Fall ein Nachweis der Tragsicherheit geführt werden.
- 5.6.4.3 Blockmauern sind durch das Einbringen einer rückseitigen Sickerschicht (lose oder gebunden) zu entwässern.
- 5.6.4.4 Ausschwemmungen loser Hinterfüllungen bzw. das Verschlammen von rückseitigen Sickerschichten sind durch die Einlage von Geotextilien bzw. andere, geeignete Massnahmen zu verhindern.
- 5.6.4.5 Bei der Verwendung von Schüttmaterial als Filterschicht sind die Filterkriterien sowohl gegenüber dem Mauerwerk wie auch gegenüber dem anstehenden Material zu erfüllen.
- 5.6.4.6 Bei der Verwendung von Geotextilien ist sicherzustellen, dass sich bei Verschlammlung des Gewebes kein Wasserdruck aufbauen kann.
- 5.6.5 **Steinkorbmauern (Gabionen)**
- 5.6.5.1 Steinkörbe können als bewehrte Trockenmauern betrachtet werden. Steinkorbmauern sind unter Berücksichtigung der Vorgaben der Steinkorbhersteller zu dimensionieren.
- 5.6.5.2 Als Füllmaterial dürfen nur witterungsbeständige Gesteine verwendet werden.

5.6.5.3 Gegen Anfahrsschäden bzw. Beschädigungen durch Schneepflüge sind an diesbezüglich exponierten Stellen geeignete Massnahmen zu treffen.

5.6.6 **Aussenschichten: Vormauerungen, Vorsatzschalen und Verblendungen**

Figur 16: Konstruktionen Vormauerungen und Verblendungen

Naturstein-Vormauerung vor einer Schwergewichtsstützmauer aus Beton (Steintiefe 60–120 mm)	selbsttragende Vorsatzschale aus Natursteinmauerwerk (Verbandsart E) eines gedämmten Zweischalenmauerwerks, hinterlüftet (Steintiefe 120–150 mm)	selbsttragende Vorsatzschale aus Natursteinmauerwerk (Verbandsart A–E) eines gedämmten Zweischalenmauerwerks, nicht hinterlüftet (Steintiefe 60–120 mm)	dünnschichtige, aufgemörtelte Natursteinverblendung auf Beton oder Mauerwerk (Plattendicke 20–40 mm gemäss Norm SIA 246)
 <p style="text-align: center;">a</p>	 <p style="text-align: center;">b</p>	 <p style="text-align: center;">c</p>	 <p style="text-align: center;">d</p>

5.6.6.1 Bemessung und Konstruktion selbsttragender Vorsatzschalen gedämmter Doppelschalenmauerwerke gemäss Figur 16b und 16c erfolgen nach den Grundsätzen des Mauerwerksbaus (Norm SIA 266), unter Berücksichtigung der jeweiligen Gesteinseigenschaften. Besonders zu beachten sind die Wärmedehnung (Dehnfugen), eine geeignete Rückhalteverankerung der Vorsatzschale sowie die bauphysikalischen Aspekte des Gesamtquerschnittes (Norm SIA 180).

5.6.6.2 Dünnschichtige Verblendungen gemäss Figur 16d werden gemäss den Vorgaben der Norm SIA 246 *Natursteinarbeiten – Beläge, Bekleidungen und Werkstücke* erstellt. Besonders zu beachten sind die Verhinderung von Kalksinterbildungen durch eine geeignete Mörtelwahl, eine ausreichende Rückverankerung der Platten und die geeignete Anordnung von Dehnfugen.

5.7 **Besondere Hinweise**

5.7.1 **Bearbeitung der Steinoberflächen**

5.7.1.1 Die Art der Bearbeitung der Steinoberflächen der Sichtflächen hat entscheidenden Einfluss auf das Erscheinungsbild eines Mauerwerks. Die gewählte Bearbeitung darf nicht zu Schäden an den Mauersteinen führen.

5.7.1.2 Die Art der Bearbeitung bzw. die Natur der Lager- und Stossflächen hat einen massgebenden Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften eines Mauerwerksverbandes und beeinflusst auch das Fugenbild wesentlich.

5.7.1.3 Der Grad einer allfälligen Bossierung ist zu definieren. Der Verlust an kraftschlüssiger Lagerfugenfläche als Folge der Bossierung ist festzulegen bzw. zu begrenzen.

5.7.1.4 Das Resultat einer gegebenen Bearbeitung hängt wesentlich vom Gestein ab, auf dem sie angewandt wird. Beispiele sind der Fachliteratur zu entnehmen.

5.7.1.5 Die Erstellung eines Musters bzw. der verbindliche Verweis auf ein Muster ist zu empfehlen.

Folgende Bearbeitungen sind üblich und handwerklich definiert (Tabelle 6). Anhang B gibt hierzu weitere Angaben sowie Abbildungen.

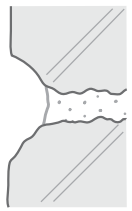
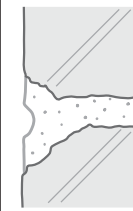
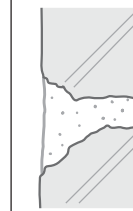
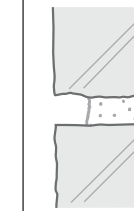
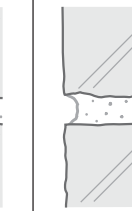
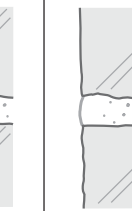
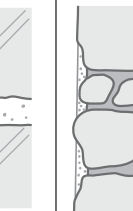
Tabelle 6: Bearbeitungen

Bearbeitung Sichtfläche		Bearbeitung Lager- und Stossfläche		Bearbeitung Sichtkanten	
maschinell	manuell	maschinell	manuell	maschinell	manuell
gebohrt gespalten	roh, gespalten	gebohrt gespalten	roh, gespalten	gebohrt gespalten	roh, gespalten
roh, gespalten	gerichtet	roh, gespalten	gerichtet	roh, gespalten	gerichtet
gesägt	punktgespitzt	gesägt	gespitzt	gesägt	gespitzt
seilgesägt	bahngespitzt				
gestockt	gestockt	gestockt	gestockt		
maschinenscharriert	geriffelt				
genadelt	gekrönelt				
gestrahlt	gezahnt				
geflammt	gebeilt		gebeilt		
gebürstet	zahngebeilt				
	gestelzt				
	scharriert		scharriert		
	gehamburgert		Randschlag		Randschlag
	gehobelt				
geschurt	geschurt				
geschliffen	geschliffen				
poliert	poliert				

5.7.2 Mörtelfugen

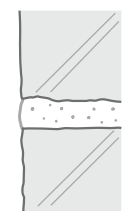
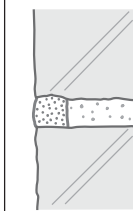
5.7.2.1 Die Art der Ausführung der Mörtelfugen hat entscheidenden Einfluss auf das Erscheinungsbild eines Mauerwerkes. Die Erstellung eines Musters ist zu empfehlen. Eine Auswahl möglicher Fugenarten zeigt Figur 17.

Figur 17: Auswahl möglicher Fugenarten im Schnittbild

vertiefte Fuge bei unregelmässigen Mauersteinkanten und Bossen	bündige Fuge mit Fugenstrich bei unregelmässigen Mauersteinkanten	bündige Fuge ohne Fugenstrich bei unregelmässigen Mauersteinkanten	eckig vertiefte Fuge bei regelmässigen Mauersteinkanten (z.B. für gesägte Steine)	rund vertiefte Fuge bei regelmässigen Mauersteinkanten	bündige Fuge bei regelmässigen Mauersteinkanten	Pietra-Rasa-Technik: Mischform Verputz/Verfugung
						

- 5.7.2.2 Bildet der Mauermörtel die Fugenoberfläche (einphasige Verfugung), muss er hinsichtlich Gestaltung sowie Resistenz gegen Oberflächenabwitterung den Anforderungen genügen.
- 5.7.2.3 Wird nachträglich, nach dem Aufmauern verfugt (zweiphasige Verfugung, Figur 18), kann der Verfugmörtel mit besonderen Eigenschaften ausgestattet werden (z.B. besondere Resistenz gegen äussere Einflüsse, Wasserabweisung, Pigmentierung).
- 5.7.2.4 Wird nach der historischen Pietra-Rasa-Technik verfugt (Mischform Verputz/Verfugung), ist der Mörtel entsprechend zu wählen. Es sind Mörtelsorten zu wählen, die bei auch geringen Schichtdicken («auf null auslaufend») ausreichend beständig sind.

Figur 18: Verfugtechnik

Einphasiges Verfugen: Mauermörtel bildet die Fugenoberfläche	Zweiphasiges Verfugen: separates Ausfugen mit Verfugmörtel
	

5.7.3 Risse

- 5.7.3.1 Als Ursache für das Auftreten von Rissen im Mauerwerk kommen unter anderem in Frage:
 - Schwinden des Mörtels
 - aufgezwungene oder behinderte Verformung
 - Lasteinwirkung
 - Temperatureinwirkung, Frosteinwirkung.

- 5.7.3.2 Die Rissbildung ist durch geeignete Massnahmen zu begrenzen, falls besondere Anforderungen gestellt werden hinsichtlich
- Aussehen
 - Funktion
 - Dauerhaftigkeit.
- 5.7.3.3 Mögliche Massnahmen zur Begrenzung der Rissbildung sind:
- Wahl geeigneter Baustoffe (Mörtel)
 - Geeignete Ausbildung der Fugen bzw. des Verbands
 - Bewegungsfugen.
- 5.7.3.4 Bewegungsfugen sollen die gesamte Dicke des Mauerwerks trennen.
- 5.7.3.5 Bei mehrschaligem Mauerwerk, Vormauerungen und Verblendungen im Verbund mit Beton sind Massnahmen zur Begrenzung der Rissbildung im Beton gemäss Norm SIA 262 zu treffen. Bei guter Rissverteilung im Beton sind im Mauerwerk keine zusätzlichen Massnahmen zur Begrenzung der Rissbildung erforderlich.
- 5.7.3.6 Bei mehrschaligem Mauerwerk, Vormauerungen und Verblendungen sind die Bewegungsfugen der Unterkonstruktion zu übernehmen.
- 5.7.3.7 Bei Trockenmauern sind keine Massnahmen zur Begrenzung der Rissbildung erforderlich.
- 5.7.3.8 Bei Vorsatzschalen gedämmter Mauerwerke sind ausreichende Dehnungsmöglichkeiten der Aussenschale in horizontaler und vertikaler Richtung zu gewährleisten. Es sind Verankerungen mit ausreichender Bewegungsmöglichkeit zu verwenden.
- 5.7.4 **Dehnfugen**
- 5.7.4.1 Das Erfordernis von Dehnfugen ist von Fall zu Fall zu prüfen. Als Richtwert darf bei Natursteinmauerwerk von einer saisonalen Längenänderungen von 1 mm/m ausgegangen werden. Dieser Wert ist bei umfangreicheren Bauten, extremen Umweltbedingungen oder aussergewöhnlichen Mauerwerksarten baustoffspezifisch zu überprüfen.
- 5.7.4.2 Bei Blockmauern und Trockenmauern sind Dehnfugen nicht erforderlich.
- 5.7.4.3 Ab einer Mauerlänge von 6 bis 8 Metern ist die Anordnung von vertikalen Bewegungsfugen zu prüfen. Die Fugen sollen jeweils die gesamte Dicke des Mauerwerks trennen. Bei geeigneter Mörtelwahl (weiche Mörtel) und ausreichender Fugenbreite kann unter Umständen auch bei langen Mauerwerken auf die Anordnung von Dehnfugen verzichtet werden.
- 5.7.4.4 Dehnfugen sind zwingend erforderlich bei Vorsatzschalen gedämmter Mauerwerke und Verblendungen. Auch in vertikaler Richtung ist eine ausreichende Dehnmöglichkeit zwischen Innenschale und Vorsatzmauerwerk einzuplanen. Bei Vormauerungen und Verblendungen sind Bewegungsfugen der Unterkonstruktion zu übernehmen.
- 5.7.4.5 Eckmauern dürfen nur dann fest verbunden werden, wenn die zu erwartenden Bewegungen (hygrisch und thermisch) vom Mauerwerk ohne Schadenfolge aufgenommen werden können. Ansonsten sind in den Eckbereichen vertikale Trennungen (Bewegungsfugen) vorzusehen.
- 5.7.5 **Fundamente**
- 5.7.5.1 Fundamente sind so auszubilden, dass Deformationen und Risse infolge Setzungen verhindert werden. Es sind die Prinzipien des Grundbaus anzuwenden, gegebenenfalls unter besonderer Berücksichtigung der geotechnischen Verhältnisse.
- 5.7.5.2 Die Wahl sickerfähiger Baustoffe (Sickerbeton, verdichtete Schotterpackung usw.) im Fundamentbereich verhindert Feuchteprobleme im Mauerwerk in etlichen Situationen auf einfache Weise.
- 5.7.5.3 In Bereichen mit stehender Nässe oder drückendem Hangwasser sind erweiterte Massnahmen zu treffen (Ziffer 5.5.2) oder die Prinzipien des Wasserbaus anzuwenden.

5.7.6 **Wärmedämmendes Natursteinmauerwerk (einschalig)**

Eine Reihe besonderer Gesteine (z.B. vulkanische Tuffe, Schaumkalke) erlaubt bei entsprechender, bauphysikalischer Bemessung die Erstellung einschaliger, wärmedämmender Mauerwerke, wobei mit grösseren Mauerdicken zu rechnen ist. Die Wind- und Schlagregendichtigkeit sowie der Feuchtehaushalt des Mauerwerks ist bei grobporigen Gesteinen zu beachten.

5.7.7 **Bewehrtes Mauerwerk**

Mauerwerksbewehrungen werden bei Natursteinmauerwerken nur in Ausnahmefällen angewendet. Es dürfen nur korrosionsbeständige Bewehrungsmaterialien eingesetzt werden. Die Anforderungen an die Bewehrung sind gemäss Norm SIA 266 zu definieren.

5.7.8 **Monolithische Pfeiler und Säulen**

Monolithische Pfeiler und Säulen sind zentrisch zu belasten. Es ist auf die Verwendung fehlerfreier Werkstücke zu achten. Mechanisch stark anisotrope Gesteine sind so zu verwenden, dass die Richtung geringster Festigkeit im Werkstück derart ausgerichtet ist, dass ein Versagen ausgeschlossen werden kann.

5.7.9 **Freitragende Platten, Konsolen, Stürze und Tritte**

Freitragende Platten, Konsolen, Stürze und Tritte müssen entsprechend den auftretenden Beanspruchungen dimensioniert bzw. durch entsprechende Bewehrungen, Einbindung bzw. Verankerung gesichert werden.

6 AUSFÜHRUNG

6.1 Bauausführung und Überwachung

- 6.1.1 Natursteinmauerwerk ist aufgrund der Pläne und Weisungen für die Ausführung zu erstellen.
- 6.1.2 Eine zweckmässige Eigenüberwachung der Arbeiten ist sicherzustellen.
- 6.1.3 Eine angemessene Fremdüberwachung gemäss Kontrollplan ist zu gewährleisten.

6.2 Baustoffe

- 6.2.1 Die Baustoffe müssen aufgrund der Pläne und Weisungen für die Ausführung gewählt und verarbeitet werden.
- 6.2.2 Weisungen der Hersteller oder Anbieter von Bauprodukten sind zu beachten.
- 6.2.3 Die Baustoffe sind so zu handhaben und zu lagern, dass sie weder beschädigt noch für eine fachgerechte Verarbeitung unbrauchbar werden. Insbesondere sind Baustoffe gegen Witterungseinflüsse und schädliche Substanzen zu schützen.
- 6.2.4 Bruchfrisches, feuchtes Steinmaterial, insbesondere solches aus Kalk- und Sandstein, darf wegen der Gefahr von Frostschäden erst nach geeigneter Lagerung verbaut werden.
- 6.2.5 Die Eigenschaften von Mauersteinen und Mauermörteln müssen Ziffer 5.3.1 entsprechen.
- 6.2.6 Bei Baustellenmörteln sind die vorgeschriebenen Mischungsverhältnisse einzuhalten.
- 6.2.7 Werkfrischmörtel und Werk trockenmörtel müssen nach den Weisungen der Hersteller verarbeitet werden. Dies gilt insbesondere für den Mischertyp, die Mischzeit und für die Verarbeitbarkeitszeit.
- 6.2.8 Baubegleitende Kontrollen der Baustoffeigenschaften sind gemäss Vorgabe im Kontrollplan auszuführen.

6.3 Masstoleranzen

- 6.3.1 Bezüglich Masstoleranzen für die Mauersteine gelten für masshaltige und quaderförmige Mauersteine die SN EN Normen (SN EN 771-6). Für Bruchsteine bestehen bezüglich Masstoleranzen keine Vorgaben bzw. müssen sie objektspezifisch vereinbart werden.
- 6.3.2 Bezüglich Masstoleranz (Ebenheit, Lot, Verlauf und Abmessungen) des erstellten Mauerwerks sind der Art und dem Zweck des Mauerwerks angepasste Toleranzen objektspezifisch festzulegen. Dabei sind die Oberflächenbeschaffenheit des Mauerwerks und die Art der verwendeten Mauersteine besonders zu berücksichtigen.

6.4 Herstellung des Mauerwerks

6.4.1 Allgemeine Vorgaben

- 6.4.1.1 Die Mauersteine sind entsprechend den Plänen und Weisungen für die Ausführung im Verband zu mauern. Die Anforderungen gemäss Ziffer 5.2 sind einzuhalten.
- 6.4.1.2 Das Mauerwerk ist auf seiner gesamten Dicke mit Sorgfalt zu erstellen. Besonders zu beachten ist eine ausreichender Versatz der Stossfugen im Mauerwerksinneren zur Herstellung des Querverbands.

6.4.2 Vorgaben zu den Verbandsarten

Bezüglich des Mauerwerksverbands sind die in Tabelle 7 dargestellten Angaben als wegleitend zu betrachten.

Abweichungen sind für normales Mauerwerk zulässig, wenn Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sichergestellt sind. Weitergehende Vorgaben können bei Bedarf definiert werden. Für die Erstellung von hochwertigem Mauerwerk (Verbandsarten C, D, E) sind die Vorgaben gemäss Tabelle 7 verbindlich.

Tabelle 7: Vorgaben zur Ausführung

Bezeichnung	Formate / Bearbeitung	Fugenbreite	Lagerfugenverlauf	Stossfugenversatz	Typische Schichthöhe
Bollensteinmauerwerk (A)	meist kleine Formate, nicht schichtig aufgebaut	2–4 cm Sollwert $\pm 1,5$ cm	unregelmässig	–	–
Zyklopenmauerwerk (B)	in der Sichtfläche polygonale, meist grosse Formate \varnothing 30–70 cm, grob gerichtet	3–6 cm Sollwert $\pm 1,5$ cm	Fugenverlauf wabenförmig	–	–
Bruchsteinmauerwerk (B)	kleine bis mittlere Formate, nicht schichtig aufgebaut	2–4 cm Sollwert $\pm 1,5$ cm	unregelmässig	–	–
Bruchstein-Schichtenmauerwerk (C)	prismatische oder plattige, nicht weiter behauene Bruchsteine mittleren Formats, Fugen der Sichtfläche annähernd rechtwinklig	3–4 cm Sollwert ± 1 cm	\pm horizontal ¹⁾ , durchgehend oder «schot-tisch» versetzt	²⁾	10–40 cm
Schichtenmauerwerk (D)	mittlere Formate, Sichtfläche auf rechtwinkliges Format bearbeitet, Lager und Stossflächen gerichtet	1,5–4 cm Sollwert ± 1 cm	horizontal ¹⁾ , durchgehend oder «schot-tisch» versetzt	²⁾	20–40 cm
Quadermauerwerk (E)	mittlere bis grosse Formate gemäss Schichtenplan, allseitig genau bearbeitet	1 cm Sollwert $\pm 0,5$ cm	horizontal ¹⁾ , durchgehend	²⁾	nach Plan
Blockmauerwerk, formwild (B)	formwilde, grosse Formate	5–10 cm auch trocken aufgeschichtet	unregelmässig	–	–
Blockmauerwerk, geschichtet (C + D)	grosse, plattige bis quaderförmige Formate	Lagerfuge 3–8 cm meist trocken aufgeschichtet	\pm regelmässig und horizontal durchgehend	²⁾	25–60cm
Steinkörbe (Gabionen)	Formate Füllmaterial nach Vorgabe Hersteller der Drahtkörbe	Füllmaterial möglichst dicht gepackt	–	–	–

¹⁾ bei geringer Neigung parallel zur Fahrbahn, zum Trassee oder zur Bachsohle.
²⁾ mindestens 2/3 der Steinhöhe und 1/5 der Steinlänge.

6.4.3 **Versetzen**

- 6.4.3.1 Die Fugenbreiten sind dem Bearbeitungsgrad der Mauersteine anzupassen, wobei die verbandtypischen Werte einzuhalten sind. Die Mauersteine dürfen sich bei vermörteltem Mauerwerk nicht direkt berühren.
- 6.4.3.2 Kleinere Lücken in den Schichten dürfen mit kleinen Steinen und Mörtel gefüllt werden, wobei die Menge der kleinen Steine auf ein Minimum zu beschränken ist und die Lagerfugen frei von Zwickelsteinen sein müssen.
- 6.4.3.3 Müssen wegen Lage und/oder Form der Mauersteine Versetzhilfen (Keile, Abstandhalter usw.) verwendet werden, sind diese nach Anziehen des Mörtels zu entfernen.
- 6.4.3.4 Bei glatten Lagerflächen (z.B. gesägte Steine) ist ein Haftgrund aufzutragen. Bei dynamisch belasteten Mauerwerken (z.B. Verkehrsbau) sind die Lagerflächen der Mauersteine mechanisch aufzurauen.
- 6.4.3.5 Bei den Verbandarten C, D und E müssen Läufer- und Bindersteine regelmässig abwechseln, und zwar so, dass in derselben Schicht auf zwei Läufer ein Binder kommt. Die Binder müssen mindestens das 1,5-Fache der Steinhöhe und mindestens 15 cm tiefer eingreifen als die Läufer. An Ecken und Kanten müssen sich Läufer und Binder abwechseln und die Steinbreite muss mindestens das Doppelte der Steinhöhe betragen.
- 6.4.3.6 Der Verband ist so zu erstellen, dass:
- die Stossfugen an den Sichtflächen und im Mauerwerk von Schicht zu Schicht genügend Versatz aufweisen (siehe Tabelle 7). Der Versatz ist in Abhängigkeit der Verbandsart und der Mauersteinformate festzulegen.
 - ein ausreichender Querverband gewährleistet ist.
 - bei unterschiedlichen Steingrössen die grössten Steine an den Ecken und im unteren Teil des Mauerwerks verbaut werden.
- 6.4.3.7 Es darf keine neue Schicht im Haupt versetzt werden, solange die inneren Steine der vorangehenden Schicht nicht gemauert sind. Eine Ausnahme bildet kombiniertes Mauerwerk mit einem Kern aus Beton, wo höchstens drei Schichten im Haupt gemauert werden dürfen, bevor wieder Beton eingebracht wird.
- 6.4.3.8 Die Mauersteine müssen unmittelbar vor dem Vermauern sauber sein, d. h. frei von Staub und anderen haftvermindernden Rückständen.

6.4.4 **Verfugen**

- 6.4.4.1 Der Mauermörtel bzw. ein separater Verfugmörtel muss bei neu erstelltem Mauerwerk die Fugen satt und rissfrei ausfüllen. Mauermörtel und Verfugmörtel müssen an der gemeinsamen Fuge einen dauerhaften Verbund untereinander bilden.
- 6.4.4.2 Abgestimmt auf die Saugfähigkeit der Mauersteine ist ein zu rasches Austrocknen der Fuge mit geeigneten Massnahmen zu vermeiden (Vorbefeuchten der Steine, Nachbehandlung, Schutzmassnahmen). Dies gilt besonders, wenn in einem separaten Arbeitsgang ausgefugt wird.
- 6.4.4.3 Wird in einem separaten Arbeitsgang ausgefugt, sind die unter Ziffer 3.3.4.10 gemachten Vorgaben zu beachten.
- 6.4.4.4 Bewegungsfugen dürfen nicht durch überschüssigen Mörtel, Steinsplitter usw. verkeilt werden. Bewegungsfugen dürfen offen gelassen werden, sofern daraus keine erheblichen Nachteile entstehen. Kittfugen sind fachgerecht zu erstellen, wobei auf die Verwendung natursteinverträglicher Kittmassen besonders zu achten ist.

6.4.5 **Hinterfüllungen**

- 6.4.5.1 Das Hinterfüllmaterial von Natursteinmauern soll sickerfähig und sauber sein. Lehm und Erde sollen nicht als Hinterfüllmaterial verwendet werden.
- 6.4.5.2 Zwischen Mauerwerk und Erdmaterial ist in der Regel eine Filterschicht aus sauberem Kies-Sandmaterial vorzusehen.

- 6.4.5.3 Als Filterschicht können auch Filterplatten, Drainmatten usw. verwendet werden, sofern sie ausreichend beständig und formstabil sind.
- 6.4.5.4 Die Filterschicht ist mit geeigneten Massnahmen vor Verschlämmung zu schützen (z.B. durch die Einlage von Geotextilbahnen) und muss ungehindert entwässern können.

6.5 Weitere Vorgaben zum Bauablauf

6.5.1 Lieferung und Transport

- 6.5.1.1 Bruchsteine und Blöcke für Blocksteinmauerwerk und Bruchsteinmauern dürfen, sofern nicht anders vereinbart, gekippt werden. Kantenschäden und Absplitterungen bilden keinen Mangel.
- 6.5.1.2 Gerichtete Mauersteine und masshaltige Mauersteine sind so zu palettieren und zu sichern (Schrumpffolie, Bänder), dass sie transportiert werden können, ohne Schaden zu nehmen.

6.5.2 Schutzmassnahmen im Bauzustand

- 6.5.2.1 Das Mauerwerk ist bei Herstellung und im Bauzustand vor schädlichen Einflüssen zu schützen.
- 6.5.2.2 Bei Aussentemperaturen von unter 5 °C darf ohne besondere Massnahmen nicht gemauert werden.
- 6.5.2.3 Bei Verwendung traditioneller, langsam erhärtender Mörtel (z.B. Kalkmörtel, Trass-Kalkmörtel) muss die Bauperiode so gewählt werden, dass bis zu einem ausreichenden Abbinden des Mörtels massgebende Frostbelastungen ausgeschlossen werden können.
- 6.5.2.4 Bei Temperaturen und Windverhältnissen, die ein zu schnelles Abtrocknen des Mörtels bewirken, sind entsprechende Schutzmassnahmen zu treffen (Abdecken, Nachbefeuchten usw.).
- 6.5.2.5 Im Bauzustand ist die Tragsicherheit und die Standfestigkeit freistehender Mauern zu sichern, sofern dies erforderlich ist. Das Mauerwerk darf nicht belastet bzw. Erschütterungen ausgesetzt werden, bevor der Mauermörtel abgebunden hat.

6.6 Mauerwerk mit besonderen Eigenschaften und Ergänzungsbauteile

Es gelten sinngemäss die Vorgaben gemäss Norm SIA 266, Ziffern 6.2 und 6.3.

ANHANG A (informativ)

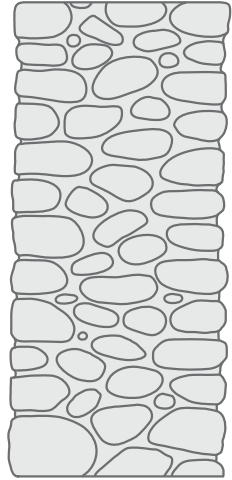
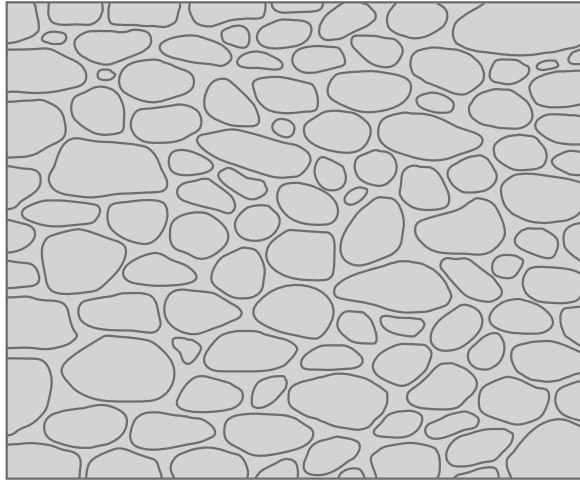
ARTEN DES MAUERWERKSVERBANDS

Die anschliessenden Darstellungen sind als Beispiele zu verstehen. Die Aufstellung ist nicht abschliessend. Kombinationen verschiedener Verbandarten und abweichende Geometrien sind möglich.

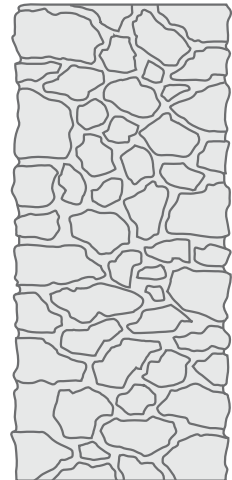
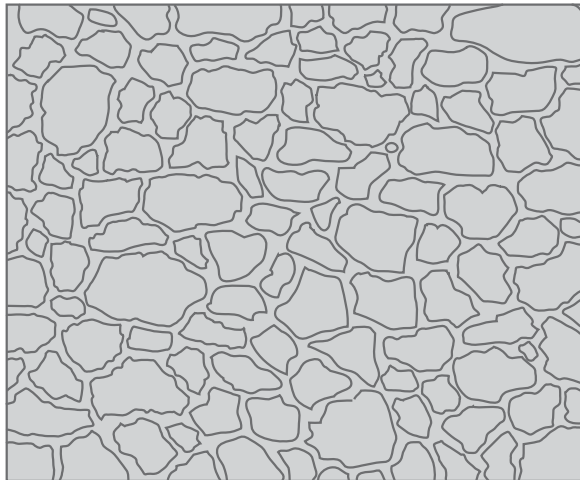
Ansicht

Vertikalschnitt

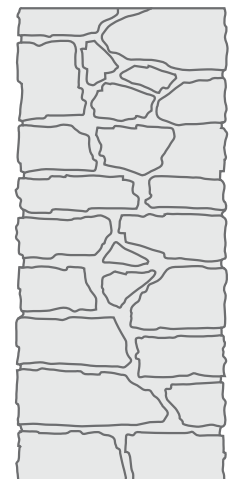
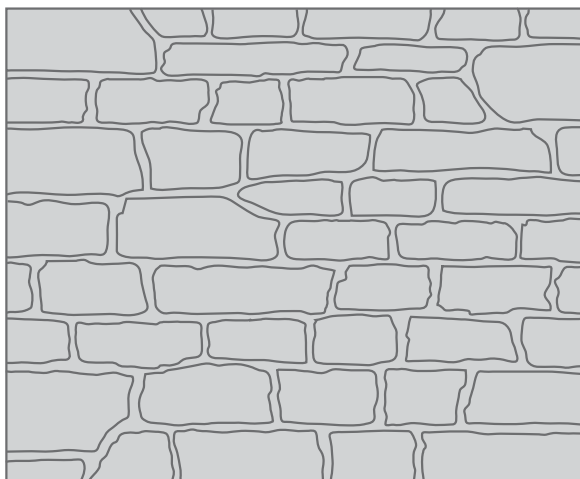
Bollensteinmauerwerk
Verbandsart A



Bruchsteinmauerwerk
Verbandsart B

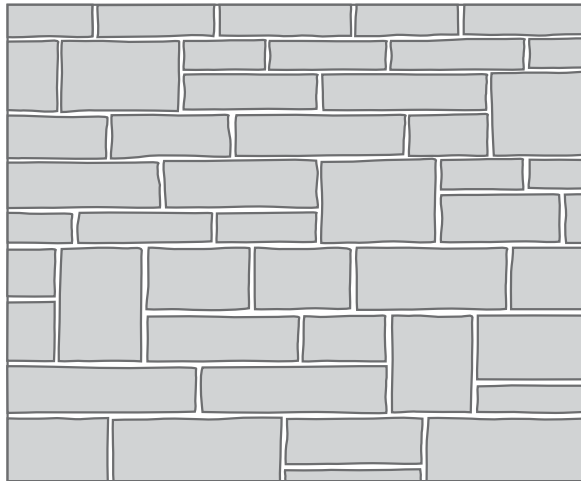


Bruchstein-Schichtenmauerwerk
Verbandsart C

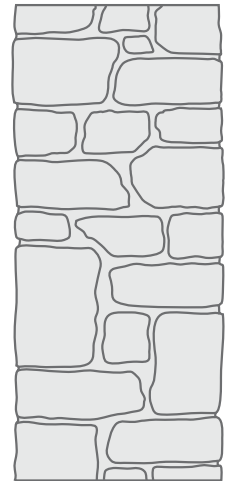


Schichtenmauerwerk, gerichtet
«schottisch»
Verbandsart D

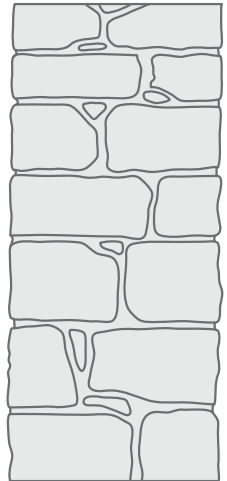
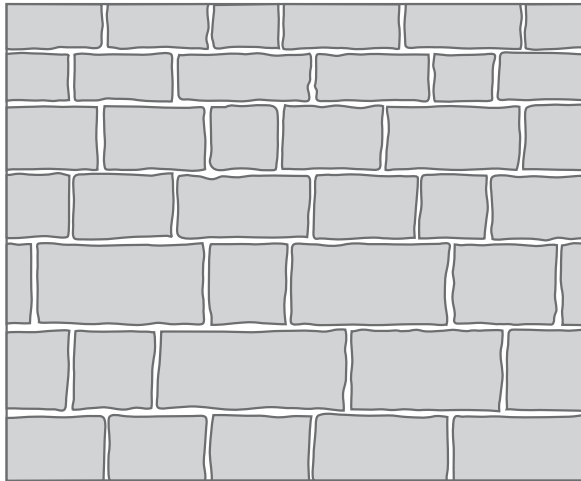
Ansicht



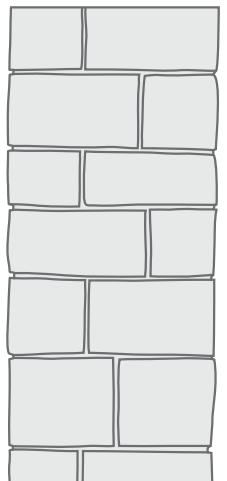
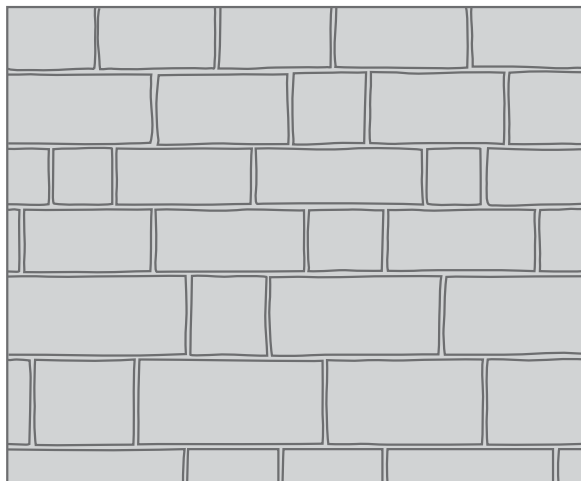
Vertikalschnitt



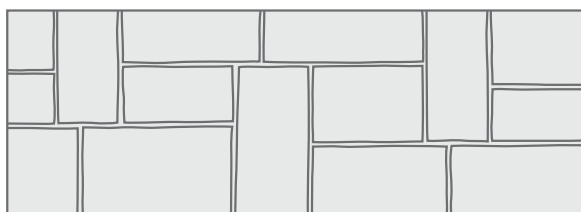
Schichtenmauerwerk, gerichtet
Verbandsart D



Quadermauerwerk
Verbandsart E

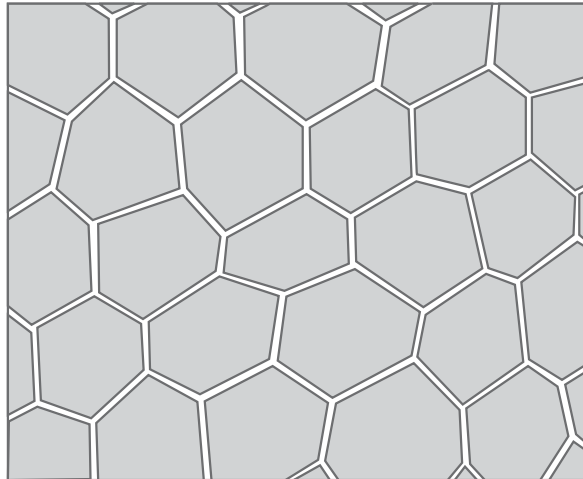


Aufbau einer Gesteinslage im
Quadermauerwerk mit Läufern
und Bindern (Horizontalschnitt)

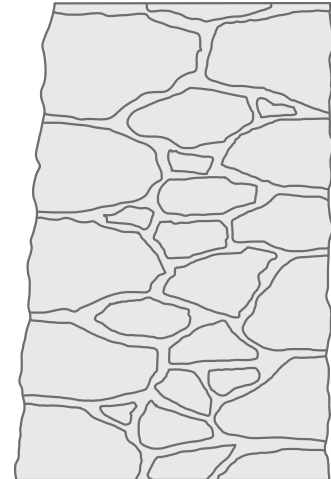


Zyklopenmauerwerk,
gerichtet
Verbandsart B

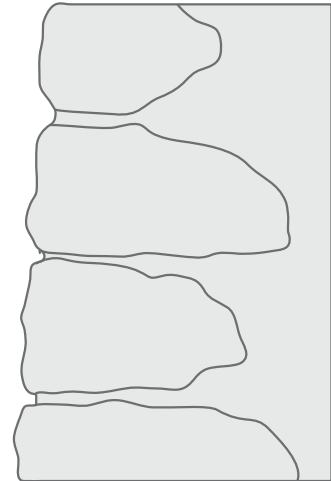
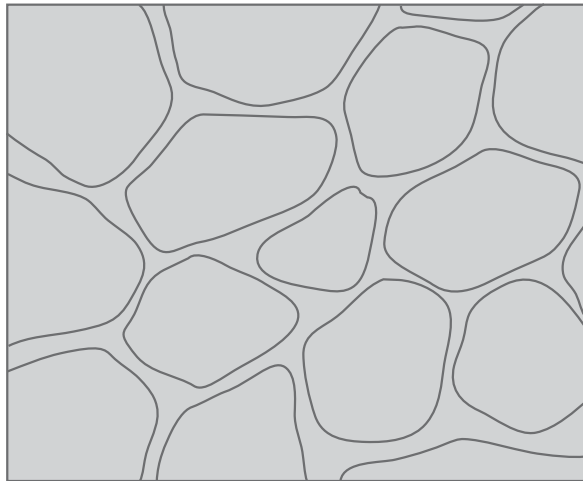
Ansicht



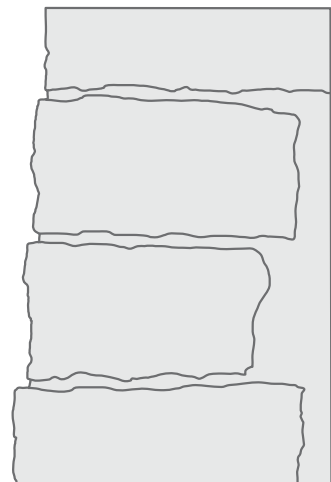
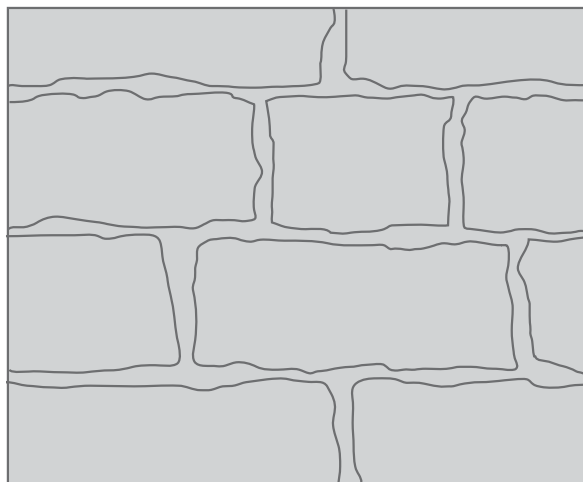
Vertikalschnitt



Blockmauerwerk,
zyklopisch
Verbandsart A-B



Blockmauerwerk,
gerichtet
in Schichten
Verbandsart D



ANHANG B (informativ)

STEINBEARBEITUNGEN

Die anschliessenden Darstellungen sind als Beispiele zu verstehen. Die Bearbeitungen und deren Feinheit hängen vom ausgewählten Naturstein ab. Nicht jede Bearbeitung ist mit jedem Naturstein möglich.

Fotos: Bruno Portmann

Gespalten

Bildbeispiel:
Sandstein



Nach dem Spalten (mit der Spaltmaschine oder manuell mit Keilen) werden die grössten Unebenheiten mit Stemmen oder Spitzen ausgeglichen, d.h. die Oberflächen werden gerichtet. Bildmassstab 1:2

Gesägt

Bildbeispiel:
Kalkstein



Maschinell diamantgesägt, gattergesägt oder seilgesägt. Abbildung diamantgesägt. Bildmassstab 1:2

Punktgespitzt

Bildbeispiel:
Kalkstein



Manuell oder maschinell mit Spitzeisen punktförmig überarbeitet. Bildmassstab 1:2

Bahngespitzt

Bildbeispiel:
Sandstein



Manuell oder maschinell mit Spitzeisen in Linien überarbeitet. Bildmassstab 1:2

Gestockt

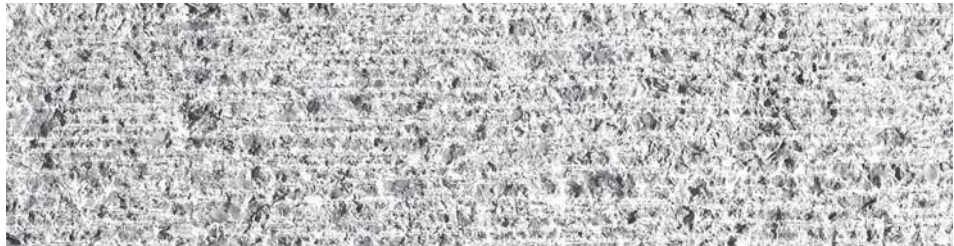
Bildbeispiel:
Kalkstein



Manuell mit Stockhammer oder maschinell mit Druckluft und Stockeinsätzen überarbeitet.
Bildmassstab 1:1

Geriffelt

Bildbeispiel:
Kalkstein



Manuell mit Riffelhammer überarbeitet. Bildmassstab 1:1

Gebeilt

Bildbeispiel:
Sandstein



Manuell mit beilartigem Werkzeug überarbeitet. Bildmassstab 1:1

Zahngebeilt

Bildbeispiel:
Sandstein



Manuell mit gezahnter Beilschneide überarbeitet, die Zähne können glatt oder spitz sein.
Bildmassstab 1:1

Gestelzt

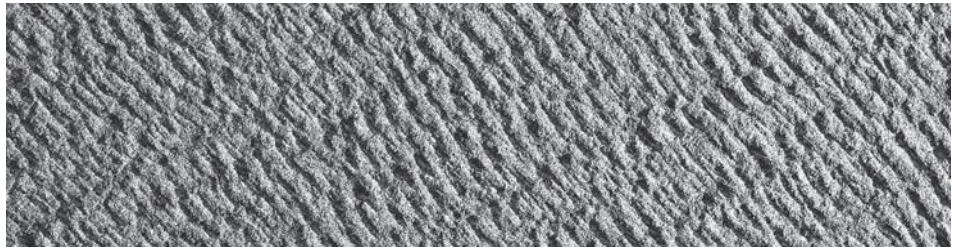
Bildbeispiel:
Sandstein



Manuell mit Halb- oder Vierteleisen überarbeitet. Bildmassstab 1:1

Gekrönelt

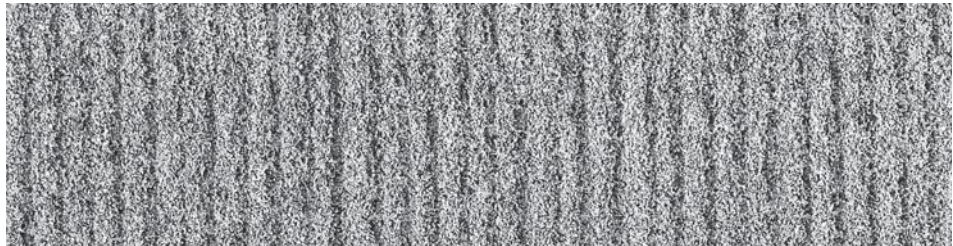
Bildbeispiel:
Sandstein



Manuell mit Krönel oder Spitzer überarbeitet. Bildmassstab 1:2

Scharriert

Bildbeispiel:
Sandstein



Manuell mit Knüpfel und Scharriereisen überarbeitet. Bildmassstab 1:1

Maschinenscharriert

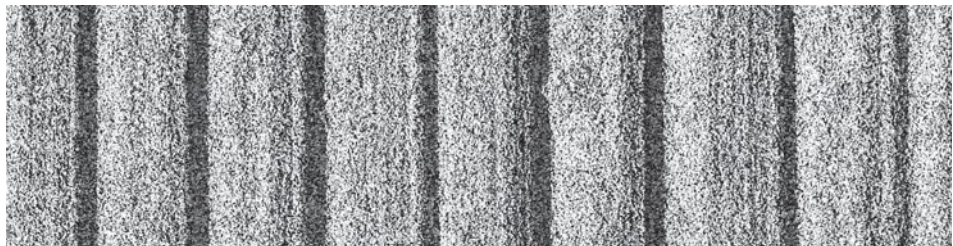
Bildbeispiel:
Kalkstein



Maschinelle Erzeugung einer scharrurähnlichen Struktur, aber wesentlich feiner, gleicht eher einer geriffelten Oberfläche. Bildmassstab 1:1

Gehamburgert

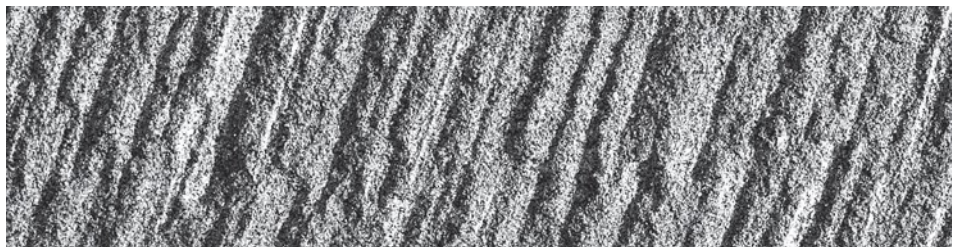
Bildbeispiel:
Sandstein



Manuell wie Scharrur erzeugt, die breiteren Schlagrillen werden durch zwei oder drei Schläge pro Rille erzeugt. Bildmassstab 1:1

Genadelt

Bildbeispiel:
Kalkstein



Mit Druckluftnadelhammer überarbeitet. Bildmassstab 1:1

Gestrahlt

Bildbeispiel:
Kalkstein



Maschinell mit einer Sandstrahlanlage überarbeitet. Bildmassstab 1:1

Geflammt

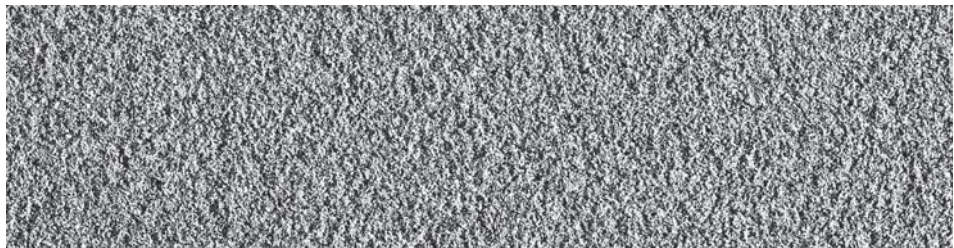
Bildbeispiel:
Kalkstein



Maschinell mit einer Schweissflamme erzeugt. Bildmassstab 1:1

Geschurt

Bildbeispiel:
Sandstein



Manuelle oder maschinelle Schleiftechnik mit Schurstein oder Metallplatte und losem Schleifmittel. Bildmassstab 1:1

Geschliffen

Bildbeispiel:
Kalkstein C220



Maschinelles Schleifen; C60 entspricht einem Grobschliff, C120 einem Mittelschliff und C220 einem Feinschliff. Bildmassstab 1:1

Poliert

Bildbeispiel:
Kalkstein



In der Regel maschinell, durch Schleifen und Polieren, auf Glanz bearbeitete Steinoberfläche. Bildmassstab 1:1

ANHANG C (informativ)

EIGENSCHAFTEN DER WICHTIGSTEN LIEFERBAREN NATURMAUERSTEINE DER SCHWEIZ

Tabelle 8: Eigenschaften der wichtigsten lieferbaren Naturmauersteine der Schweiz (Fortsetzung auf Seite 52)

Steinart	Handelsname	Vorkommen	Textur/ Struktur	Farbe	Druck- festigkeit [N/mm ²]	Wasser- aufnahme [Massen-%]	Form	Wetter- beständig- keit
Granit	Urnergranit	Gurtellen	massig/ mittelkörnig	grau, weiss, schwarz	160–240	< 0,6	wild, behauen	sehr gut
	diverse	lokale Vorkommen im Aar- und Gotthardmassiv	massig/ fein- bis grobkörnig	grau, weiss, schwarz	120–250	< 0,6	wild, behauen	sehr gut
Gneis	Andeer	Andeer	massig/ mittelkörnig	grün	130–200	< 0,6	wild, gespalten, gesägt	sehr gut
	Bernhardin	Hinterrhein	plattig/ feinkörnig	licht- bronze	130–200	0,4 ... 0,8	gespalten gesägt	sehr gut
	Soglio	Promontogno	plattig/ feinkörnig	licht- bronze	130–200	0,4 ... 0,8	parallel gesägt	sehr gut
	Tessinergneis, hell, Iragna, Cresciano	Claro bis Lavorgo (Iragna, Lodrino, Cresciano)	massig/ schwach- plattig, mittelkörnig	weiss- grau	130–200	0,4 ... 1	wildplattig gespalten, gesägt	sehr gut
	Maggia	Maggiatal, Vergeletto	plattig	grau- schwarz	110–180	0,5 ... 1,2	plattig gespalten	sehr gut
	Calanca	Calancatal/ Arvigo	plattig	grau- schwarz	110–180	0,5 ... 1,2	plattig gespalten	sehr gut
	Verzascagneis	Verzascatal/ Brione	plattig	grau- schwarz	110–180	0,5 ... 1,2	plattig gespalten	sehr gut
Quarzit	Valser	Vals	plattig	grau bis grünlich	100–140	0,5 ... 1,5	plattig gespalten	gut
Verrucano	Melserstein	Mels	massig	karminrot/ gescheckt	80–120	0,5 ... 2	wild, behauen	gut
	Rouge de Collonges	Collonges	massig	karminrot/ gescheckt	80–150	0,5 ... 2	gesägt	gut
Grün- gesteine (Serpentine)	Vert de Salvan	Salvan	massig	dunkel- grün			wild, gesägt	gut
Marmor	Castionemarmor	Castione	massig, streifig	weiss, grau, braun	90–120	< 0,5	wild, gesägt	gut
	Cristallinamarmor	Peccia	massig, streifig	weiss, grau, braun	80–120	< 0,5	wild, gesägt	gut
Kalk- silikatfels	Castionegranit	Castione	massig	grau- bräunlich	120–180	0,75	wild, gesägt	gut

Steinart	Handelsname	Vorkommen	Textur/ Struktur	Farbe	Druck- festigkeit [N/mm ²]	Wasser- aufnahme [Massen-%]	Form	Wetter- beständig- keit
Alpine Kalke und Flysch- Sand- steine	Blauseekalk	Blausee/Kander- steg	massig	dunkel- grau	150–200	0,5 ... 1	wild, gesägt	gut
	Ringgenberger	Ringgenberg	massig	dunkel- grau	150–200	0,6 ... 1,2	wild, gesägt	gut
	Guber	Guber/Alpnach	massig	dunkel- grau	200–280	0,3 ... 0,8	wild, behauen	sehr gut
	Grès de carrière	Region Monthey	massig	dunkel- grau	200–250	0,3 ... 1,2	wild, behauen	sehr gut
	Blöcke aus vielen Schot- terwerken	diverse	massig	dunkel- grau			wildplattig	gut
Jurakalk	Lägernkalke	Regensberg/ Steinmaur	massig/ lagig	grau-gelb	120–180	0,8 ... 3	wild, behauen, gesägt	recht gut
	Aargauer Jura	diverse kleine Brüche	massig/ lagig	grau-gelb	120–180	0,8 ... 3	wild	recht gut
	Solothurn- kalke	Lommiswil	massig/ lagig	grau-gelb	120–180	0,8 ... 3	wild, behauen, gesägt	recht gut
	Pierre de la Cernia	La Cernia/ Neuenburg	massig/ lagig	grau-gelb	120–180	0,8 ... 3	wild, behauen, gesägt	recht gut
	Laufenerkalk	Laufen, Liesberg	massig/ lagig	grau-gelb	120–180	0,8 ... 3	wild, behauen, gesägt	recht gut
	Blöcke aus vielen Schot- terwerken	diverse	massig/ lagig					mässig gut
Muschel- sand- steine	Mägenwiler	Mägenwil, Othmarsingen	massig	grün, grau	35–100	1,5 ... 5	behauen, gesägt	recht gut
	Seiry	Estavayer	massig	grün, grau	35–100	1,5 ... 5	behauen gesägt	recht gut
Jura- sand- steine	Oberhofer Sandsteine	Oberhofen AG	massig	dunkelrot geflammt	30–80	3 ... 10	wild, behauen, gesägt	mässig
Molasse- sand- steine	Plattensand- steine	Staad, Rorschach, Rooterberg	plattig	grau, grünlich, gelblich	60–110	1 ... 4	wild, behauen gesägt	recht gut
	Berner Sand- steine, Frei- burger Sandst.	Ostermundigen, Krauchtal, Region Freiburg	massig	grau-grün	20–40	5 ... 8	gesägt, behauen	mässig
	Granitische Sandsteine	St. Margrethen, Teufen, oberer Zürichsee	massig	grau	80–150	1 ... 4	behauen, gesägt	gut

ANHANG D (normativ)

TRAGSICHERHEITSNACHWEIS VON WÄNDEN

D.1 Allgemeines

- D.1.1 Für die Anwendung der nachfolgenden Tragsicherheitsnachweise gelten folgende Voraussetzungen:
- Wände müssen an Kopf und Fuss senkrecht zur Wandebene gehalten sein
 - Wände müssen mit Decken so verbunden sein, dass die erforderliche Übertragung der horizontalen Kräfte gewährleistet ist.
- D.1.2 Die Nachweise mit exzentrischer Normalkraftbeanspruchung basieren auf einer Beschränkung der Exzentrizität $e_z \leq 3/8 t_w$.

D.2 Exzentrische Normalkraftbeanspruchung

- D.2.1 Der Nachweis der Tragsicherheit nach Theorie 2. Ordnung unter Berücksichtigung der von den Decken aufgezungenen Wandverdrehungen kann mithilfe der Beiwerte k_N aus Figur 19 und 20 geführt werden:

$$N_{xd} \leq k_N l_w t_w f_{xd} \quad (12)$$

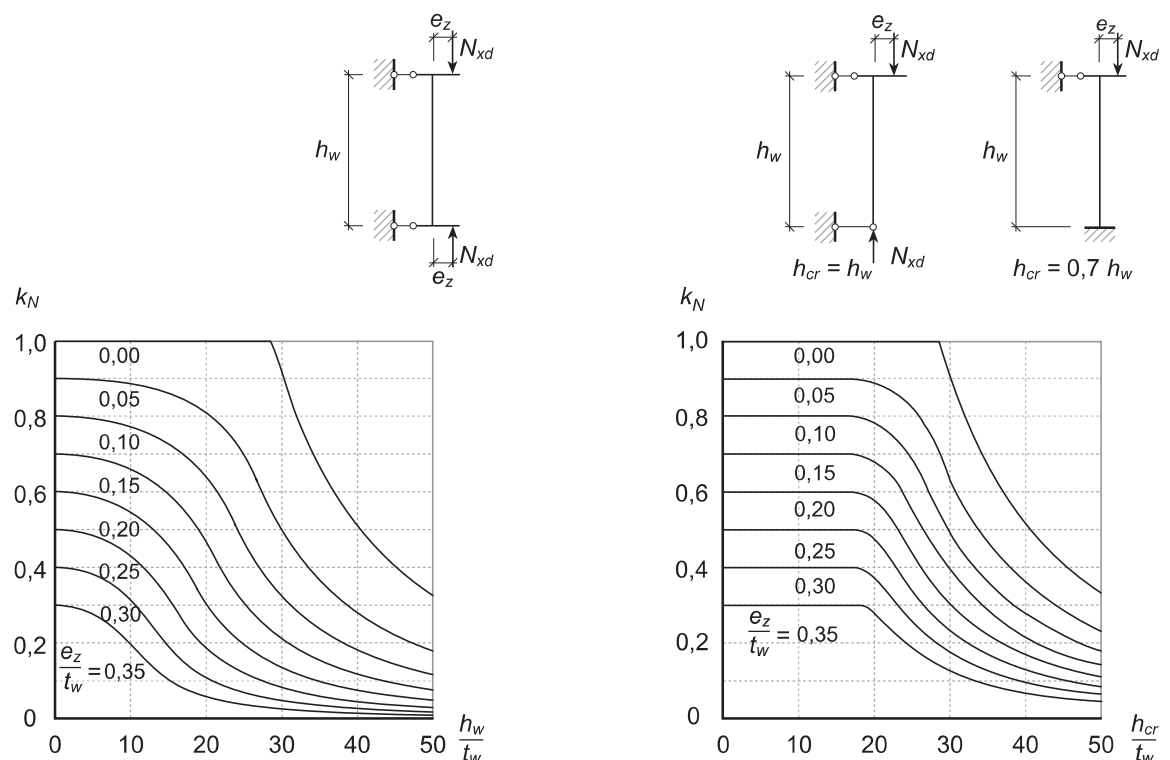
Der Bezugswert h_{Ed} in Figur 19 beträgt:

$$h_{Ed} = \pi \sqrt{\frac{E_{xd} l_w t_w^3}{12 N_{xd}}} \quad (13)$$

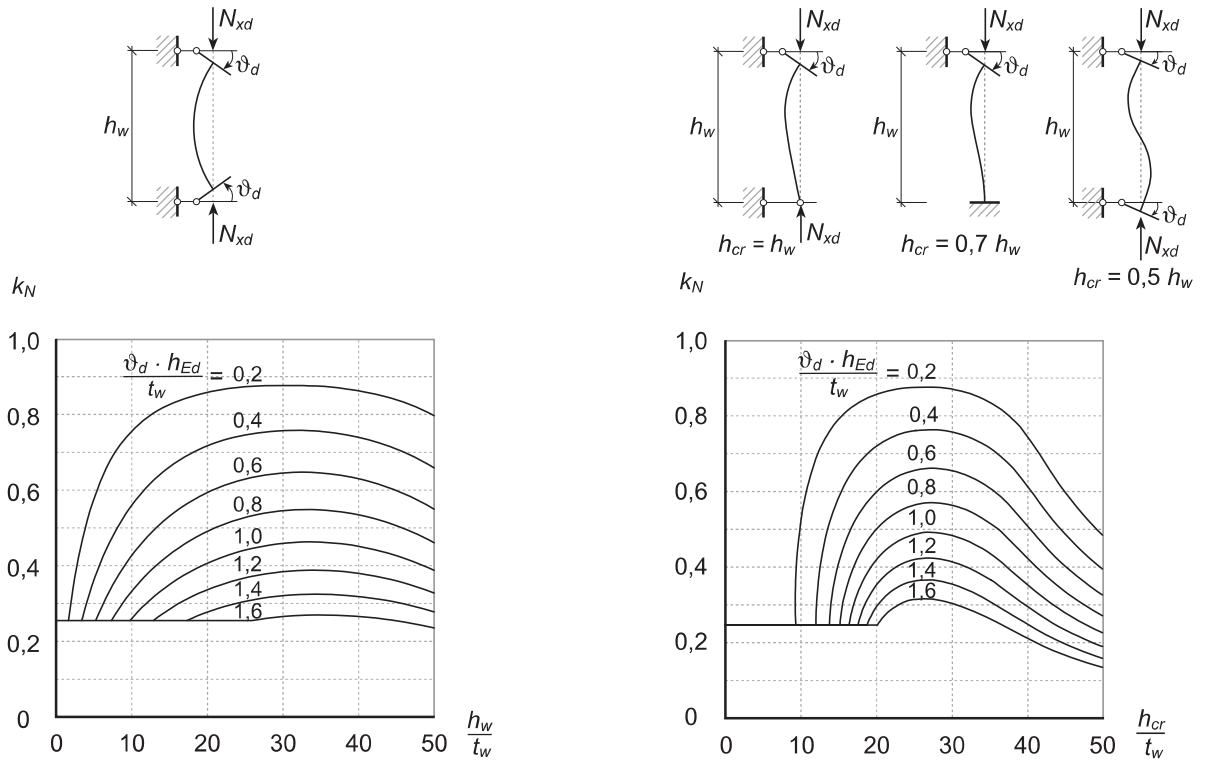
- D.2.2 Aufgezungene Wandverdrehungen sind unter Berücksichtigung der Rissbildung der Decken zu ermitteln. Ohne genauere Untersuchungen darf angenommen werden:
- die Wände beeinflussen ϑ_d nicht
 - die Langzeitverformungen der Decken sind massgebend.
- D.2.3 Für teilweise eingebundene Decken darf das Wand-Deckensystem ohne genauere Untersuchung gemäss Figur 20 behandelt werden. Zusätzlich zu (12) ist folgende Bedingung einzuhalten:

$$N_{xd} \leq a l_w f_{xd} \quad (14)$$

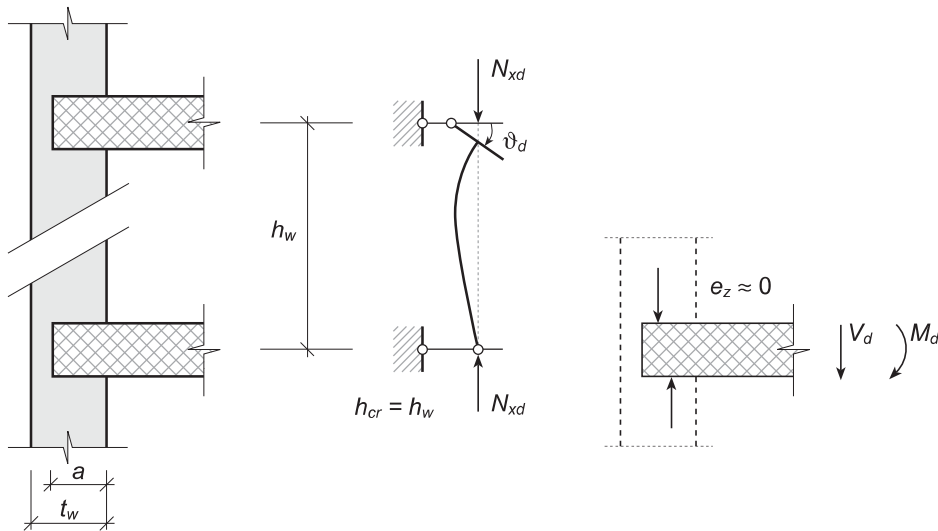
Figur 19: Teil 1: Beiwerte zur Ermittlung des Tragwiderstands unter Normalkraftbeanspruchung



Figur 19: Teil 2: Beiwerte zur Ermittlung des Tragwiderstands unter Normalkraftbeanspruchung



Figur 20: Teilweise eingebundene Decken



D.3 **Zentrische Normalkraft mit Schub**

D.3.1 Für einfache Schubwände gilt die Tragsicherheit als nachgewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$V_d \leq k_v l_1 t_w f_{yd} \tag{15}$$

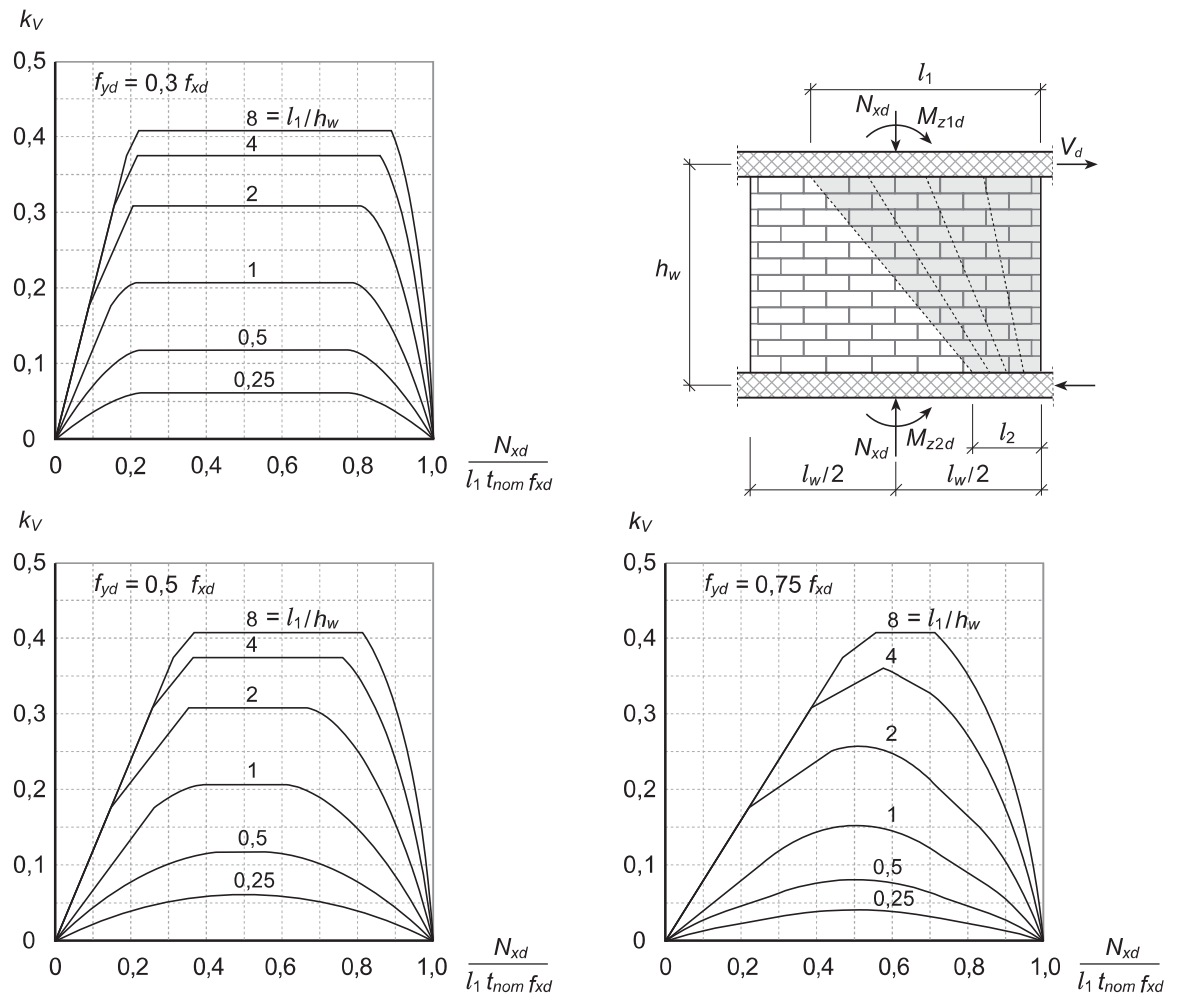
k_v = Beiwert aus Figur 21 mit $t_{nom} = t_w$

$$l_1 = l_w - \frac{2 M_{z1d}}{N_{xd}} \tag{16}$$

D.3.2 Der Nachweis gemäss (15) und (16) führt bei $M_{z1d} \neq 0$ zu Resultaten, die auf der sicheren Seite liegen. Aus einem Nachweis mit überlagerten Spannungsfeldern gemäss Ziffer 4.3.3 resultiert ein in vielen Fällen höherer Tragwiderstand.

D.3.3 Für die Verbände ohne durchlaufende Lagerfugen (A, B) gilt $f_{yd} = f_{xd}$.

Figur 21: Beiwerte zur Ermittlung des Tragwiderstands unter Schubbeanspruchung



D.4 Exzentrische Normalkraft mit Schub

D.4.1 Die Tragsicherheit gilt als nachgewiesen, wenn die Bedingungen (17) und (20) erfüllt sind.

$$N_{xd} \leq k_N l_2 t_w f_{xd} \quad (17)$$

$$l_2 = l_w - \frac{2 M_{z2d}}{N_{xd}} \quad (18)$$

$$h_{Ed} = \pi \sqrt{\frac{E_{xd} l_2 t_w^3}{12 N_{xd}}} \quad (19)$$

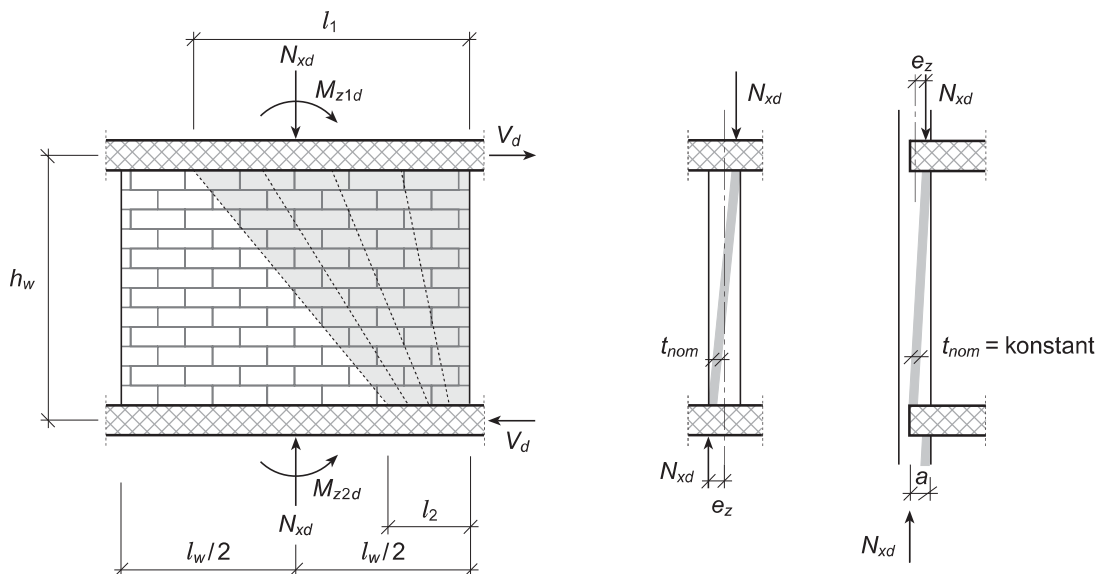
und

$$V_d \leq k_V l_1 t_{nom} f_{yd} \quad (20)$$

$$l_1 = l_w - \frac{2 M_{z1d}}{N_{xd}} \quad (21)$$

D.4.2 Für die reduzierte Wanddicke gemäss Figur 22 darf vereinfachend der auf der sicheren Seite liegende Wert $t_{nom} = 0,25 t_w$ angenommen werden.

Figur 22: Schubbeanspruchung mit exzentrischer Normalkraft



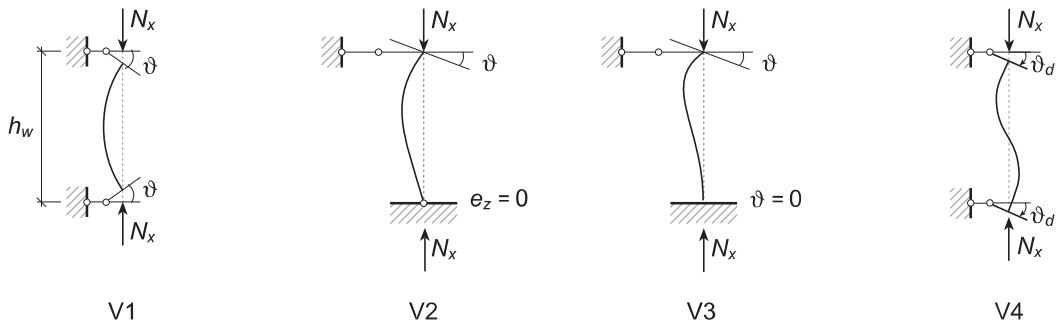
D.4.3 Bei bekannter Exzentrizität der Normalkraft ist die nominelle Wanddicke bestimmt durch:

$$t_{nom} = t_w - 2e_z \quad (22)$$

D.4.4 Bei Wänden mit durch die Decken aufgezwungener Endverdrehung ergibt sich die Exzentrizität aus dem Zusammenspiel von Wand und Decke gemäss Figur 23. Von den in Figur 23 dargestellten Bemessungsfällen V1 – V4 ist jener zu wählen, der am besten mit der zu untersuchenden Situation übereinstimmt.

Die Endmoment-Endverdrehungs-Kurven sind für die 3 Bemessungsfälle in Figur 24 bis 26 in normierter Form dargestellt. Zwischen den verschiedenen Kurven und Diagrammen darf interpoliert werden.

Figur 23: Bemessungsfälle V1 bis V4

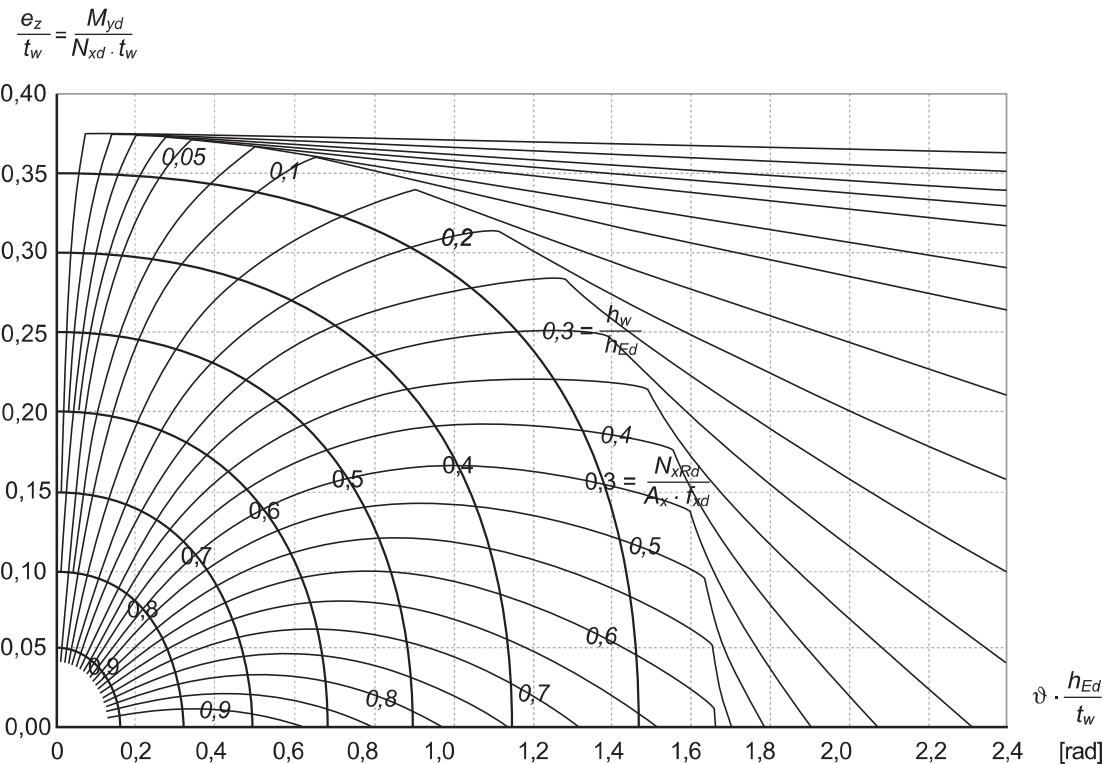


D.4.5 Die nominelle Wanddicke wird wie folgt bestimmt:

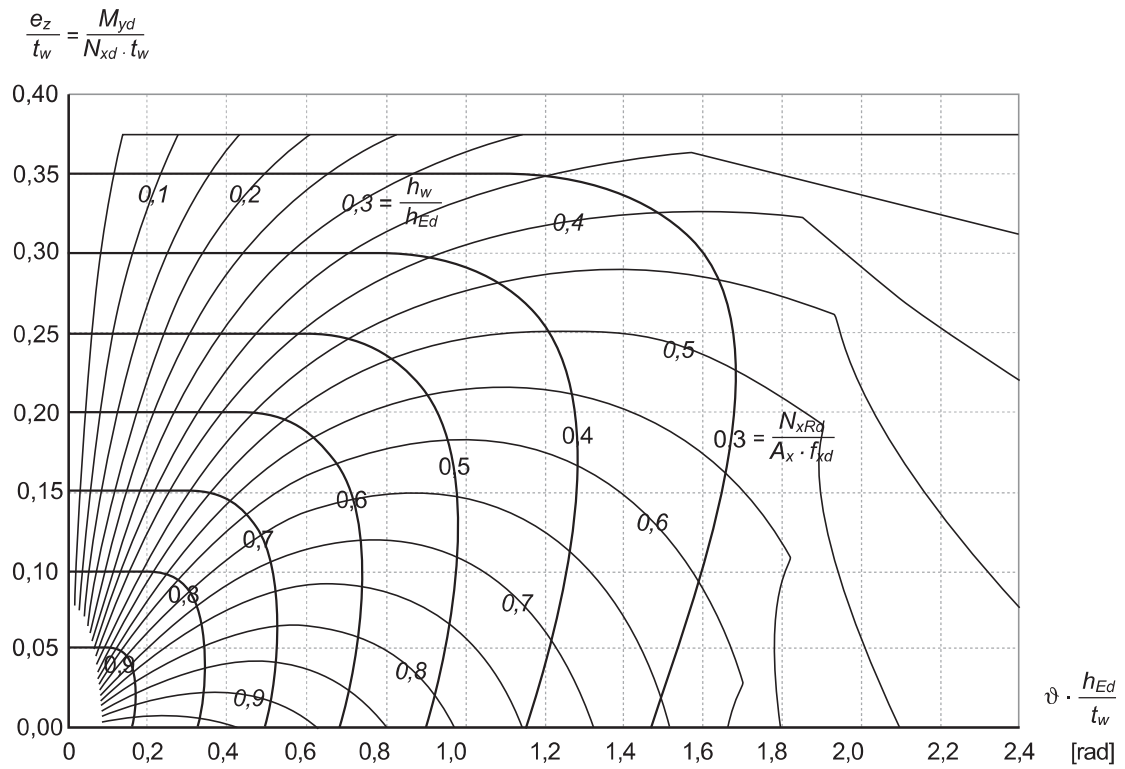
- Die Deckenverdrehung ϑ_d wird gemäss Ziffer D.2 bestimmt und normiert.
- In dem zum untersuchten Bemessungsfall passenden Diagramm Figur 24 wird aufgrund der bezogenen Schlankheit h_w/h_{Ed} die zur Beanspruchung gehörende Wandkurve bestimmt. Im Fall V4 gilt das Diagramm V2 mit halber Wandhöhe $h_w/2$.
- Die Ordinate der Wandkurve für die gegebene normierte Deckenverdrehung ist die zugehörige normierte Exzentrizität e_z/t_w .
- Mit der Exzentrizität e_z wird die nominelle Wanddicke gemäss (22) bestimmt.

D.4.6 Bei teilweise eingebundenen Decken ist t_{nom} gemäss Figur 22 am Wandkopf zu ermitteln und über die Wandhöhe als konstant anzunehmen. Zusätzlich gilt $t_{nom} \leq a$.

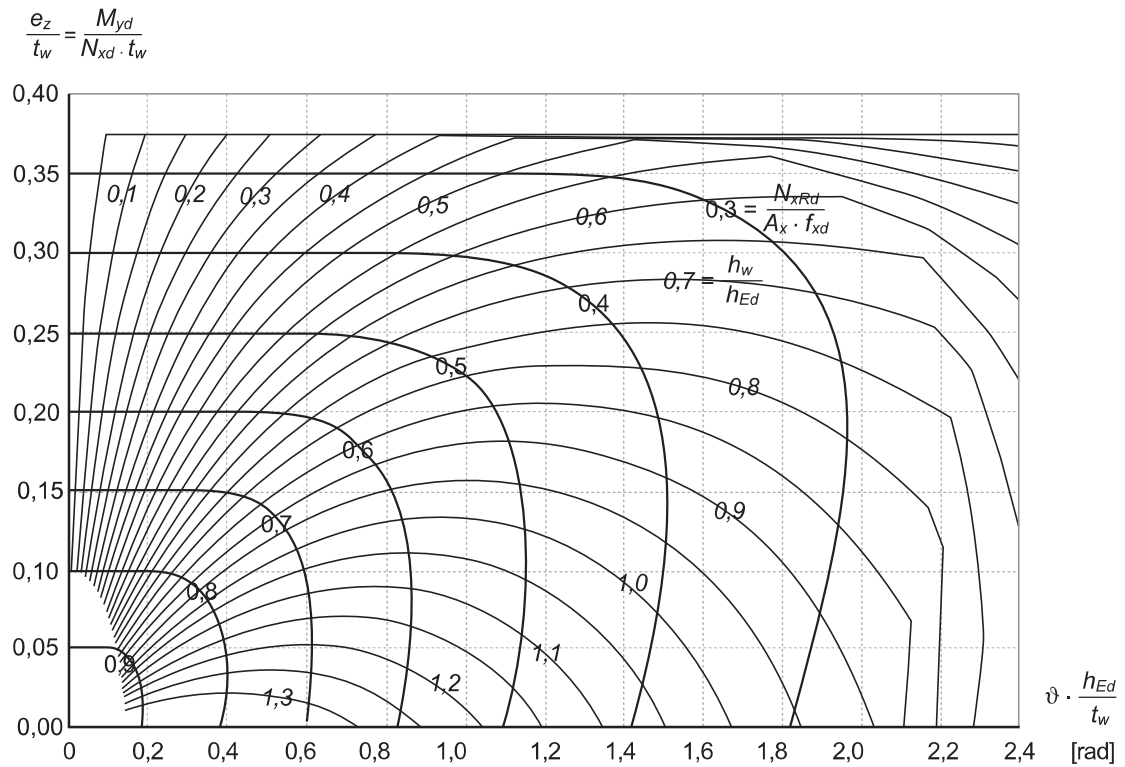
Figur 24: Endmoment-Endverdrehungs-Kurven, Bemessungsfall V1



Figur 25: Endmoment-Endverdrehungs-Kurven, Bemessungsfall V2



Figur 26: Endmoment-Endverdrehungs-Kurven, Bemessungsfall V3



Abkürzungen der in der Arbeitsgruppe SIA 266/2 vertretenen Organisationen

ETH Zürich	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
HSLU	Hochschule für Technik und Architektur Luzern
NVS	Natursteinverband Schweiz
SBB	Schweizerische Bundesbahnen

Arbeitsgruppe SIA 266/2

Präsident	Dr. Philipp Rück, dipl. Geologe ETH/SIA, Schinznach-Dorf	Materialforschung, NVS
Mitglieder	Prof. Dr. Joseph Schwartz, dipl. Ing. ETH, Zürich Thierry Berset, dipl. Ing. ETH/SIA, Zürich Dr. Nebojša Mojsilović, dipl. Ing. TU/SIA, Zürich Hans Ulrich Remensberger, dipl. Ing. ETH/SIA, Zürich Gianfranco Sciarini, dipl. Ing. ETH/SIA, Vira	ETH Zürich Projektierung ETH Zürich SBB Projektierung
Protokoll	Gabi Zwysig-Gall, dipl. Ing. ETH, Horw	HSLU

Kommission SIA 266

Präsident	Prof. Dr. Joseph Schwartz, dipl. Ing. ETH, Zürich	ETH Zürich
Mitglieder	Thierry Berset, dipl. Ing. ETH/SIA, Zürich Ralph Gantenbein, dipl. Ing. ETH/SIA, Buchs Dr. Nebojša Mojsilović, dipl. Ing. TU/SIA, Zürich Dr. Kerstin Pfyl-Lang, dipl. Ing. ETH/SIA, Zürich Ruedi Räss, dipl. Ing. ETH/SIA, Sursee Dr. Philipp Rück, dipl. Geol. ETH/SIA, Schinznach-Dorf Stefan Schmid, Produktmanager, Dättwil Gianfranco Sciarini, dipl. Ing. ETH/SIA, Vira	Projektierung Unternehmung ETH Zürich Behörde Forschung Materialforschung, NVS Mörtelindustrie Projektierung
Protokoll	Gabi Zwysig-Gall, dipl. Ing. ETH, Horw	HSLU

Genehmigung und Gültigkeit

Die Zentralkommission für Normen und Ordnungen des SIA hat die vorliegende Norm SIA 266/2 am 23. November 2010 genehmigt.

Sie ist gültig ab 1. Januar 2012.

Sie ersetzt die Empfehlung SIA V 178 *Naturstein-Mauerwerk*, Ausgabe 1996.

Copyright © 2012 by SIA Zurich

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie, CD-ROM usw.), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, sind vorbehalten.