



## Anwendungshinweise

# **„Naturstein für Trockenmauern zur Böschungsabstützung, Hang- und Dammsicherung“**

**Ausgabe 11/2013**

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Grundlagen .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Allgemeines.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Geltungsbereich .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Begriffsbestimmungen.....</b>	<b>5</b>
1.3.1 Naturstein .....	5
1.3.2 Schwergewichtsmauer .....	5
1.3.3 Futtermauer.....	6
1.3.4 Blockschichtung und Gabionen.....	7
1.3.5 Böschung .....	9
1.3.6 Kriechen .....	9
1.3.7 Gleiten .....	10
1.3.8 Fließen .....	10
1.3.9 Kippen .....	10
1.3.10 Bodenaustausch .....	10
1.3.11 Bodenverfestigung.....	10
1.3.12 Bodenverdichtung.....	11
<b>1.4 Einsatzkriterien für Trockenmauern aus Naturstein .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Grundsätze zur konstruktiven Durchbildung von Trockenmauern aus Naturstein ...</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Gestein - Anforderungen.....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Beschaffenheit und Aussehen (Petrografische Beschreibung).....	13
2.1.2 Prüfung .....	14
2.1.3 Gesteinsarten der Natursteinquader.....	16
2.1.4 Abmessungen der Bruchsteinquader und der Trockenmauer.....	16
2.1.5 Gewichtsbeschränkung einzelner Bruchsteinquader .....	19
2.1.6 Schadensbilder.....	19
<b>2.2 Böschung.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1 Anforderungen an das Material.....</b>	<b>20</b>
2.2.2 Dimensionierung .....	20
2.2.3 Böschungswinkel.....	21
2.2.4 Sicherung .....	22
2.2.5 Standsicherheit .....	24
<b>2.3 Gründung .....</b>	<b>26</b>
2.3.1 Anforderungen an die Gründung.....	26
2.3.2 Anforderungen an den Baugrund .....	26
2.3.3 Dimensionierung .....	27

2.3.4 Gründungstiefe .....	29
<b>2.4 Hinterfüllung.....</b>	<b>32</b>
2.4.1 Anforderungen an die Hinterfüllung .....	32
2.4.2 Dimensionierung .....	32
<b>2.5 Entwässerung .....</b>	<b>34</b>
2.5.1 Allgemeines .....	34
2.5.2 Möglichkeiten für Entwässerung .....	34
2.5.3 Schichtenwasser .....	35
2.5.4 Oberflächenwasser .....	38
<b>2.6 Verband .....</b>	<b>41</b>
2.6.1 Anforderungen an den Verband .....	41
2.6.2 Funktion der Steine.....	43
2.6.3 Verlegen der Steine .....	44
2.6.4 Fugen .....	48
2.6.5 Beispiele für Mauerwerk aus Naturstein .....	50
<b>2.7 Absturzsicherung.....</b>	<b>53</b>
<b>2.8 Eignungs- und Fremdüberwachung .....</b>	<b>56</b>
<b>2.9 Kontrollprüfungen des AG .....</b>	<b>57</b>
2.9.1 Allgemeines .....	57
2.9.2 Zusammenstellung der Kontrollprüfungen am angelieferten Naturstein .....	58
<b>3. Grundsätze zur Bemessung von Trockenmauern aus Naturstein .....</b>	<b>60</b>
3.1 Schwergewichtsmauer .....	60
3.2 Futtermauer .....	61
3.3 Blockschichtung .....	61
3.4 Gabionen.....	62
<b>4. Spezifische Grundsätze zur Ausbildung von Trockenmauern aus Naturstein .....</b>	<b>63</b>
4.1 Schwergewichtsmauer .....	63
4.2 Futtermauer .....	65
4.3 Blockschichtung .....	66
4.4 Gabionen.....	68
<b>5. Unterhaltung und Dokumentation .....</b>	<b>76</b>
5.1 Nachbehandlung, Wartung und Unterhaltung.....	76
5.1.1 Nachbehandlung .....	76
5.1.2 Wartung und Unterhaltung .....	76
5.2 Bestandsaufnahme und Dokumentation .....	77
5.2.1 Allgemeines .....	77

5.2.2 Fotodokumentation .....	77
5.2.3 Mechanisches Verfahren .....	78
5.2.4 Geophysikalisches Verfahren .....	78
5.2.5 Optisches Verfahren .....	79
<b>6. Mängel und Schäden .....</b>	<b>80</b>
<b>6.1 Risse .....</b>	<b>80</b>
<b>6.2 Hinterfüllung.....</b>	<b>83</b>
<b>6.3 Verband .....</b>	<b>87</b>
<b>7. Beispiele für Ausschreibungstexte .....</b>	<b>88</b>
<b>7.1 Ausschreibung einer Schwergewichtsmauer.....</b>	<b>88</b>
<b>7.2 Ausschreibung einer Futtermauer .....</b>	<b>89</b>
<b>7.3 Ausschreibung von Gabionen.....</b>	<b>90</b>
7.3.1 Gabionen als Drahtschotterbehälter / Steinkörbe .....	90
7.3.2 Dichtungsschicht .....	92
<b>7.4 Ausschreibung einer Blockschichtung (Blocksteinmauer / Quadermauer).....</b>	<b>93</b>
<b>7.5 Ausschreibung einer Absturzsicherung.....</b>	<b>95</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>97</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>101</b>



## **1. Grundlagen**

### **1.1 Allgemeines**

Diese Anwendungshinweise geben konstruktive und bautechnische Empfehlungen zur Planung, Bemessung und Ausführung von Trockenmauern, Gabionen und Blockschichtungen und Beispiele für Ausschreibungstexte. Des Weiteren werden in der Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 „Naturgestein für Trockenmauern zur Böschungsabstützung, Hang- und Dammsicherung“ vom 02.01.2007 [5] materialtechnische Kennwerte und die dazugehörigen Prüfverfahren für Natursteine festgelegt.

Naturstein für Böschungsabstützungen, Hang- und Dammsicherungen darf beim Abbau nur gerissen oder schonend gesprengt werden (nicht brisant).

Die Trockenmauern sollen den anstehenden Boden und Fels vor Verwitterung und anderen äußeren Einflüssen schützen. Die Voraussetzung dieser Bauweise ist, dass die anstehende Böschung standsicher ist (angelehnte Futtermauern) bzw. zur Aufnahme der Erddruck- und Verkehrslasten bemessen und nachgewiesen wurde (Schwergewichtsmauer).

### **1.2 Geltungsbereich**

Diese Anwendungshinweise gelten für:

- Stützmauern als Schwergewichtsmauern
- angelehnte Mauern oder Futtermauern ohne statische Stützfunktion
- Hang- und Dammsicherung
- Blockschichtungen
- Gabionen

### 1.3 Begriffsbestimmungen

Die Begriffe und Symbole für die verwendeten Materialien aus Naturstein bestimmen sich stein-, material-, form- und größenbezogen in Anlehnung an DIN EN 771-6 „Festlegungen für Mauersteine – Natursteine“. Für das Mauerwerk und seine Begriffe und Symbole gilt die DIN EN 1996, Eurocode 6 „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ [10] als Ersatz für die DIN 1053 „Rezeptmauerwerk“ [7].

#### 1.3.1 Naturstein

Naturstein wird je nach Gesteinsart (**Punkt 2.1.2 – Gesteinsarten für Natursteinquader**) als natürlicher Werkstoff im Steinbruch gewonnen und hauptsächlich zur Verkleidung von Stützbauwerken als verankertes Verblendmauerwerk verwendet. Das verwendete Gestein muss gleichbleibende Eigenschaften aufweisen und die nachfolgenden Anforderungen erfüllen. Für Trockenmauern sollen die Natursteine so verlegt werden, dass ein guter Verband entsteht und kein Mörtel eingesetzt werden muss. Zum Bau einer Trockenmauer eignen sich Bruchsteine aus der näheren Umgebung, wenn sie die Mindestanforderungen gemäß **Punkt 2.1.1 – Anforderungen an das Gestein** erfüllen.

#### 1.3.2 Schwergewichtsmauer

Nach [4] gehören Schwergewichtsmauern zu den wirklich klassischen Systemen der Böschungssicherung. Aus großformatigen, quaderförmigen Bruchsteinen, die eine überwiegend von Rechtecken begrenzte, lagerhafte Form mit einer Sichtfläche ausweisen, bilden sie im Verband (Läufer und Binder) eine regelmäßig oder unregelmäßig geschichtete Trockenmauer, die als Schwergewichtsmauer eine Stützfunktion für eine natürliche oder geschüttete Böschung, einen Hang oder einen Straßenkörper erfüllen soll und dafür statisch-konstruktiv bemessen ist.

Die Standsicherheit der Mauer ist unter Umständen schon durch die Masse der Mauer gegeben, wovon jedoch nur maximal die Hälfte des Eigengewichtes in der statischen Berechnung angesetzt werden soll.



**Abbildung 1:**  
Schwergewichts-  
mauer

### **1.3.3 Futtermauer**

Aus großformatigen, quaderförmigen von einer Seite auf ein festgelegtes Maß bearbeiteten Bruchsteinen, die eine von Rechtecken begrenzte, lagerhafte Form mit einer Sichtfläche aufweisen soll. Es handelt sich um eine trocken geschichtete, angelehnte Mauer, die stets nach hinten geneigt und selbsttragend dimensioniert ist. Diese Mauer erfüllt keine Stützfunktion für Böschungen und wird statisch-konstruktiv nur für die eigene Standsicherheit bemessen. Sie erfüllt neben gestalterischen Aspekten hauptsächlich die Funktion des Verwitterungs- und Erosionsschutzes einer Erd- bzw. Feldböschung (Rutschungen, Ausbrüche, Nachbrüche).

Die Standsicherheit der Böschung ist in jedem Fall unabhängig von der Futtermauer nachzuweisen oder durch geeignete, konstruktive, geotechnische Maßnahmen herbeizuführen. Damit diese Bauweise angewandt werden kann, dürfen kein Erddruck und kein Druck durch Schichten- oder Oberflächenwasser bestehen.



**Abbildung 2:**  
Futtermauer nach [8]

### **1.3.4 Blockschichtung und Gabionen**

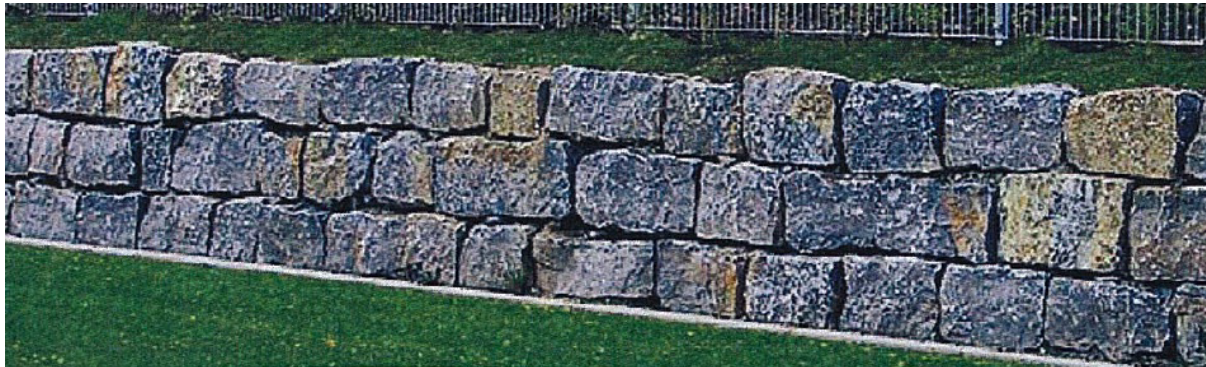
Diese Bauweisen sind im „Merkblatt über Stützkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen“ [8] der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“ beschrieben und fallen nur im Falle der Verwendung von Naturstein unter diese Regelungen.

#### **1.3.4.1 Blockschichtung**

Eine Blockschichtung kann man auch als Blocksteinmauer (Quadermauer) verstehen. Aus großformatigen, quaderförmigen Bruchsteinen, die eine Stützfunktion für eine natürliche oder geschüttete Böschung, einen Hang oder einen Straßenkörper erfüllen soll und dafür statisch-konstruktiv bemessen ist. Diese Bauweise wird verwendet zur Sicherung von Böschungen



anstehender Böden gegen Verwitterung, Erosion und Ausbrüchen, wenn Böschungsneigungen steiler als 1:1 möglich sind.



**Abbildung 3:**  
Blockschichtung

#### **1.3.4.2 Gabionen**

Gabionen werden aus Drahtkörben mit Steinfüllung hergestellt, die Stützfunktionen für eine Böschung, einen Hang oder einen Straßenkörper erfüllen sollen und dafür statisch-konstruktiv als Schwergewichtsmauern bemessen sind. Eine Gabione kann auch als Drahtschotterbehälter bezeichnet werden. Sie erfüllt neben gestalterischen Aspekten auch die Funktionen des Lärmschutzes durch die hohe Schallabsorptionsfähigkeit durch die Gesteine.



**Abbildung 4:**  
Gabionen nach [20]

### **1.3.5 Böschung**

Als Böschung versteht man einen Geländesprung, der natürlich besteht oder künstlich angelegt ist.

Mittels sorgfältiger Erkundung der Boden-, Fels- und Wasserverhältnisse werden die bautechnischen Festlegungen über den Verbau der Böschung und die Gewährleistung der Standsicherheit getroffen. Die Standsicherheit der Böschung ist rechnerisch nachzuweisen, falls im Ergebnis der Erkundung ein Nachweis erforderlich ist.

### **1.3.6 Kriechen**

Dieser Bewegungsvorgang vollstreckt sich über lange Zeit. Dieser langsame, sich nicht beschleunigende Bewegungsvorgang ist als Abwärtsbewegung des Hangmaterials ohne Rissbildung zu verstehen. Lockermaterialien, die sich unter Einfluss von Frostwechsel ausdehnen und auch wieder zusammenziehen, sowie tonhaltige Materialien, die durch ihre schlechte Wasserdurchlässigkeit Quellen und Schrumpfen ausgesetzt sind, verursachen Kriechbewegungen.

### **1.3.7 Gleiten**

Rutschungen von Bodenmassen sind als der Vorgang des Gleitens zu verstehen. Das Wasserdurchlässigkeitsvermögen des Bodens und das Gefälle des Geländes sind die wichtigsten Faktoren, die zum Gleiten von Bodenmassen führen können. Deshalb müssen diese Faktoren untersucht werden, sowie Maßnahmen zur Vorbeugung getroffen werden. Vorbeugungsmaßnahmen können zum Beispiel der Einbau von Dränagen, Stabilisierung durch Bewehrung oder Stützung der Böschungen durch Trockenmauern sein.

### **1.3.8 Fließen**

Liegt eine starke Durchfeuchtung des Lockergesteins vor, so kann es zu einer schnellen Verlagerung von Bodenmassen kommen. Dieser Zustand ist als Fließen von Bodenmassen zu verstehen. Eine Ursache dafür kann der plötzliche starke Anfall von Wasser sein.

### **1.3.9 Kippen**

Als Kippen ist das schnelle Verlagern von Kluftkörpern zu verstehen. Andere Begriffe für diesen Vorgang sind „Stürzen“ oder „Fallen“.

### **1.3.10 Bodenaustausch**

Um auf einen Baugrund gründen zu können, muss eine ausreichende Tragfähigkeit gewährleistet sein. Kann diese Tragfähigkeit nicht gewährleistet werden, kann es zur Anwendung des Bodenersatzverfahrens kommen. Der ungeeignete Boden wird zum Teil oder vollständig mit tragfähigem Material ausgetauscht. Es ist beim Einbau eine ausreichende lagenweise Verdichtung des Materials durchzuführen.

### **1.3.11 Bodenverfestigung**

Um auf einen Baugrund gründen zu können, muss eine ausreichende Tragfähigkeit gewährleistet sein. Kann diese Tragfähigkeit nicht gewährleistet werden, kann es zur Anwendung des Verfahrens der Bodenverfestigung kommen. Dem zu behandelnden Boden werden Stoffe in Form von Bindemitteln zu geführt. Kalk oder Zement kommen dafür in Frage. Das Verfahren lässt sich bei bindigen Böden gut anwenden, sowie bei Böden mit schluffigen und tonigen Anteilen. Das Verfahren kann direkt vor Ort angewendet werden. Das Material kann aber auch abtransportiert und in einer Mischanlage behandelt werden.

### **1.3.12 Bodenverdichtung**

Um auf einen Baugrund gründen zu können, muss eine ausreichende Tragfähigkeit gewährleistet sein. Kann diese Tragfähigkeit nicht gewährleistet werden, kann es zur Anwendung des Verfahrens der Bodenverdichtung kommen. Durch den Einsatz von Walzen oder Stampfern soll ein tragfähiger Baugrund entstehen.



## **1.4 Einsatzkriterien für Trockenmauern aus Naturstein**

Trockenmauern aus Naturstein können überall dort eingesetzt werden, wo eine natürliche oder naturnahe Einbindung eines Stütz- oder Verkleidungsbauwerkes gestalterisch notwendig oder aus ökologischen und landschaftsplanerischen (Besiedlung / Bepflanzbarkeit) Gründen sinnvoll ist.

Diese wirtschaftliche Bauweise ist insbesondere bei Baugrundverhältnissen mit großem Setzungsrisiko (gleichmäßige und ungleichmäßige Setzungen) den konventionell gegründeten Bauweisen, z.B. Stahlbetonstützwände als Winkelstützwand oder als Schwergewichtsstützwand vorzuziehen.

Bei schwierigen hydrogeologischen Verhältnissen mit Schichtenwasserandrang, betonaggressiven Wassereigenschaften, hohem Oberflächenwasseranfall und hohen gespannten und ungespannten Grundwasserspiegeln ist Trockenmauerwerk mit seinem durchlässigen, dauerhaft nicht abdichtenden Gefüge sowie sehr guten Drainageeigenschaften im Mauerkronen- und Sohlbereich vorteilhaft einsetzbar.

Im Bereich starker Sprühnebel- und Taumittelbelastung, z.B. bei Stützbauwerken neben bzw. oberhalb von Straßen, ist die Frosttausalzempfindlichkeit von Naturstein im Allgemeinen höher als die von Beton, da keine Bewehrung dauerhaft passiviert werden muss.

Die Isotropie einer Trockenmauer in jeder Beanspruchungsrichtung ermöglicht die schadlose Aufnahme bleibender Verformungen (gutmütiges Verhalten) bei unplanmäßigen Verformungen der Hinterfüllung oder des Baugrundes.

## **2. Grundsätze zur konstruktiven Durchbildung von Trockenmauern aus Naturstein**

### **2.1 Gestein - Anforderungen**

Die Eignung verschiedener Gesteinsarten für den Bau von Natursteinmauern hängt von ihren Eigenschaften ab. Zur Vorbereitung auf den Einsatzort sind wesentliche Merkmale und Eigenschaften des Gesteins nachzuweisen.

Folgende Anforderungen zur Verwendung von Naturstein für Trockenmauern müssen erfüllt sein:

- Widerstand gegen Verwitterung
- Maßhaltigkeit
- hohe Festigkeit

Die gesteinstechnischen Prüfungen und Anforderungen sind in der Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 (02.01.2007) „Naturgestein für Trockenmauern zur Böschungsabstützung, Hang- und Dammsicherung“ [5] festgelegt. Die geeigneten Naturgesteine sind im „Katalog der fremdüberwachten Naturgesteine für Trockenmauern zur Böschungs-, Hang- und Dammsicherung“ veröffentlicht [11].

#### **2.1.1 Beschaffenheit und Aussehen (Petrografische Beschreibung)**

Die petrografische Beschreibung dient der Klassifizierung und Kennzeichnung der Eigenschaften des Natursteins, die das chemische, physikalische und mechanische Verhalten charakterisiert und auf Grund der Mineralogie bestimmte Gewinnungs- und Einsatzgrenzen vorgibt und die Beschaffenheit, das Aussehen, die Form und die Abmessungen der Bruchsteine bestimmen.

Die quaderförmigen Bruchsteine sollen natürliche, gesteinspezifische und gewinnungsabhängige, überwiegend ebene Bruchflächen mit einer Lagerfläche und einer Sichtfläche aufweisen. Die Festlegung der Farbe, Struktur, Maserung und Beschaffenheit der Bruchsteinquader ist – wie bei Naturprodukten allgemein üblich- nur abstrakt möglich. Genaue Festlegungen sind der Bemusterung vorbehalten.

### **2.1.2 Prüfung**

Damit die im Punkt 2.1.3 aufgeführten Schadensbilder nicht entstehen, ist es wichtig, dass der Naturstein einen hohen Widerstand gegen Verwitterung aufweist. Um dies nachzuweisen sollten nach DIN 52106 „Prüfung von Gesteinskörnungen – Untersuchungsverfahren zur Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit“ [21] Prüfungen durchgeführt werden.

Als Erstes wird die Lage des Bauwerkes, die klimatischen Verhältnisse, die Häufigkeit von Schmelz-, Regen- oder Spritzwasser untersucht. Des Weiteren ist der Natursteingewinnungsort (Lager-/Gewinnungsstätte) zu begutachten und der entsprechend mögliche Naturstein auszuwählen.

Außerdem sind die Untersuchungen des Natursteins im Labor wichtig. Diese setzen sich zusammen aus Untersuchungen der stofflichen und granulometrischen Eigenschaften, mechanischen Beanspruchungen und dem Widerstand gegen Verwitterung.

Bei Natursteinmauern, die in der unmittelbaren Nähe der Fahrbahn liegen und damit unter ständigem Einfluss von Spritzwasser und Taumittel stehen, ist die Frost-Tauwechsel-Beständigkeit sehr wichtig. Darunter versteht man nicht nur das Verhalten des Natursteins bei mehreren Frost-Tau-Wechseln sondern auch die Taumittelbeständigkeit, die unter Verwendung verschiedener Taumittel getestet werden kann.

#### **2.1.2.1 Widerstand gegen Verwitterung**

Bei der Natursteinverwitterung unterscheidet man zwischen zwei Faktoren, der inneren und der äußeren Natursteinverwitterung.

Mit den äußeren Faktoren wird beschrieben, dass jedes Gestein dem Einfluss von physikalischen und chemischen Zerstörungsprozessen unterliegt. Die Art der Verwitterung hängt vom Klima und den auf das Gestein einwirkenden Faktoren ab. Wie zum Beispiel: Temperatur und Temperaturschwankungen, Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, Wasser und Salze.

Die inneren Faktoren der Natursteinverwitterung hängen von der Gesteinsart und den damit verbundenen charakteristischen Gesteinseigenschaften ab. Wichtig sind die Art des Kornverbandes, die Porengröße, die Porenradien und die Porenverteilung, die Festigkeit der einzelnen Minerale und ihre räumliche Anordnung. Mit diesen Gefügeeigenschaften sind

Rückschlüsse, auf die für die Verwitterung wichtigen technischen Kennwerte, wie Festigkeit und Wasseraufnahme bzw. Sättigungswert zu führen.

Aus diesem Grund ist es erforderlich ein präzises Anforderungsprofil zu erstellen, um einen zerstörerischen Angriff der Natursteinmauern durch Natursteinverwitterung so gering wie möglich zu halten.

Die Verwitterung wird in drei Arten unterschieden in die physikalische, die chemische und die biologische Verwitterung.

Unter der physikalischen Verwitterung versteht man das Zerschlagen und Zerkleinern der Mineralien. Die Verwitterung erfolgt durch wechselnde Temperaturen, da die Mineralien eine verschieden große Wärmeausdehnung haben. Oft erfolgt eine Verwitterung durch häufigen Frost-Tau-Wechsel. Des Weiteren erfolgen Absprengungen durch gefrierendes Wasser und durch Salze.

Die chemische Verwitterung greift die Mineralien selbst an, löst sie auf oder wandelt sie um. Die Lösung der Mineralien erfolgt durch Wasser unter Beteiligung von Säuren, Alkalien und Salzen. Regen und Schneewasser wirken allein schon dadurch lösend, dass sie weder Calciumcarbonat noch Calciumsulfat enthalten, diese Salze aber bis zur Sättigung aufnehmen können.

Eine biologische Verwitterung tritt vor allem dort in Erscheinung, wo üppiger Pflanzenbewuchs herrscht. Dort kann es zu Zerstörung durch Bohrmuscheln und Bohrwürmer, Flechten und Bakterien kommen. Häufig entstehen auch Schäden durch Wurzelsprengungen.

Bei der Mehrzahl aller Verwitterungserscheinungen ist das Wasser Hauptursache. Dazu gehören die Verwitterung durch den Einfluss von Regen und Schnee, die Verwitterung durch aufsteigendes Kapillarwasser, die Verwitterung durch Wasserdampfkondensation, die Verwitterung durch Frostsprengung, die Verwitterung durch Salzsprengung und die chemische Verwitterung.

### **2.1.2.2 Festigkeit**

Die Prüfung der Festigkeit und die Anforderungen sind in der Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 „Naturgestein für Trockenmauern zur Böschungsabstützung, Hang- und Dammsicherung“, 02.01.2007 [5] enthalten.

### **2.1.3 Gesteinsarten der Natursteinquader**

Je nach Eignung und Anforderungsklasse kommen folgende Gesteinsarten der 3 Gesteinsgruppen in Frage.

Magmatite:	Granit, Basalt, Diorite, Porphyre	(hohe Beanspruchung)
Metamorphite:	Schiefer, Gneise, Quarzite, Marmor	(mittlere Beanspruchung)
Sedimentite:	Kalkstein, Sandstein, Travertin	(normale Beanspruchung)

**Tabelle 1:**  
Gesteinsarten

### **2.1.4 Abmessungen der Bruchsteinquader und der Trockenmauer**

Für die Abmessungen der Bruchsteinquader und der Trockenmauer sind Proportionen einzuhalten, die sich aus petrografischen, statischen und ästhetischen Gründen ergeben. Die Mauerdicke (MD) und die Mauerhöhe (MH) bestimmen die Maße (Höhe (SH)/ Länge (SL)/ Breite oder Tiefe (ST)) der Natursteine. Dabei ist die Steingröße gleichmäßig von unten nach oben abzustufen.

Für Trockenmauerwerksabmessungen gelten je nach Hinterfüllung folgende von ... bis – Werte als Faustformeln für Mauerhöhen von 3,0 m bis 6,0 m:

Mauerdicke im Sohlbereich:	$MD_u = 0,30 \dots 0,70 MH \geq 1,0 \text{ m}$	unten
Steinschichthöhe unteres Drittel:	$SH_u = 0,15 \dots 0,25 MH < 1,0 \text{ m}$	
Steinlänge unteres Drittel:	$SL_u = 1,50 \dots 2,00 SH_u$	
Steintiefe unteres Drittel:	$ST_u = 0,50 \dots 0,60 MD_u > SH_u$	
Mauerdicke im Mittelbereich:	$MD_m = 0,25 \dots 0,60 MH \geq 1,0 \text{ m}$	mitte
Steinschichthöhe	$SH_m = 0,10 \dots 0,20 MH > 0,25 \text{ m}$	
Mittelschichten:		
Steinlänge Mittelschicht:	$SL_m = 1,50 \dots 2,00 SH_m$	
Steintiefe Mittelschicht:	$ST_m = 0,50 \dots 0,60 MD_m > SH_m$	oben
Mauerdicke am Wandabschluss:	$MD_o = 0,20 \dots 0,50 MH \geq 1,0 \text{ m}$	
Steinschichthöhe Mauerkrone:	$SH_o = 0,08 \dots 0,15 MH > 0,25 \text{ m}$	
Steinlänge Mauerkrone:	$SL_o = 1,50 \dots 2,00 SH_o$	
Steintiefe Mauerkrone:	$ST_o = 0,50 \dots 0,60 MD_o > SH_o$	

**Tabelle 2:**  
Abmessungen der Bruchsteinquader und der Trockenmauer

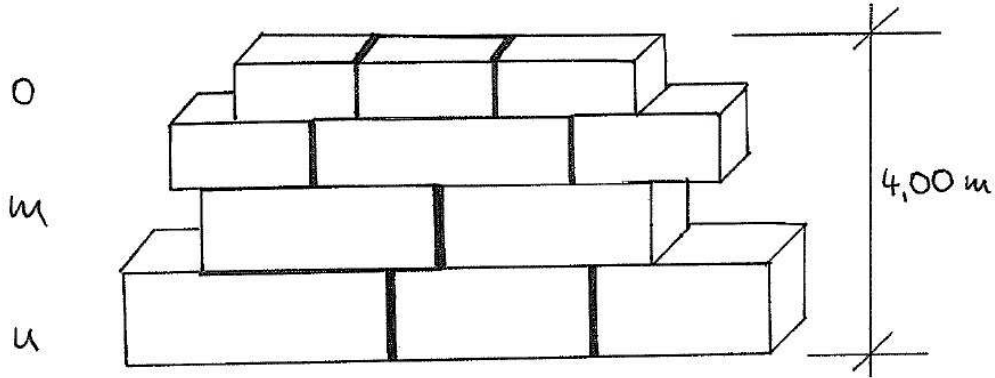
Für Mauerhöhen bis 4 m sind die Proportionen zwischen Mittelbereich und Wandabschluss maßgebend.

Mauerhöhen  $\geq 10 \text{ m}$  sollten vermieden werden und in Kaskaden aus mehreren Stützmauern aufgelöst werden.

### 2.1.4.1 Berechnungsbeispiel Abmessungen der Natursteinquader und der Trockenmauer

gegeben: Trockenmauer

Mauerhöhe  $MH = 4,0 \text{ m}$



gesucht: Abmessungen der Natursteinquader und der Trockenmauer

Lösung:

#### Mauerdicken:

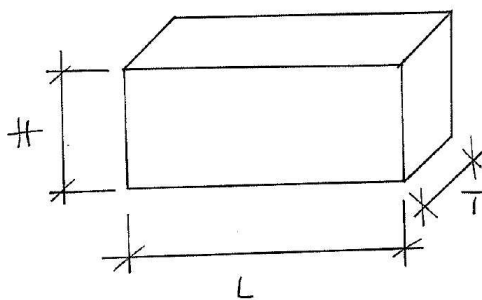
Sohlbereich:  $1,0 \text{ m} \leq MD_u < 1,2 \text{ m} \dots 2,8 \text{ m}$

Mittelbereich:  $1,0 \text{ m} \leq MD_m < 2,4 \text{ m}$

Mauerkrone:  $1,0 \text{ m} \leq MD_o < 2,0 \text{ m}$   
(0,8 m)

#### Steinabmessungen:

**H / L / T**



Gründungsschicht:  $0,6 \text{ m} \dots 1,0 \text{ m}$  /  $0,9 \text{ m} \dots 2,0 \text{ m}$  /  $0,6 \text{ m} \dots 1,68 \text{ m}$

Mittelschicht:  $0,4 \text{ m} \dots 0,8 \text{ m}$  /  $0,6 \text{ m} \dots 1,6 \text{ m}$  /  $0,5 \text{ m} \dots 1,44 \text{ m}$

Abdeckschicht:  $0,32 \text{ m} \dots 0,6 \text{ m}$  /  $0,48 \text{ m} \dots 1,2 \text{ m}$  /  $0,4 \text{ m} \dots 1,2 \text{ m}$

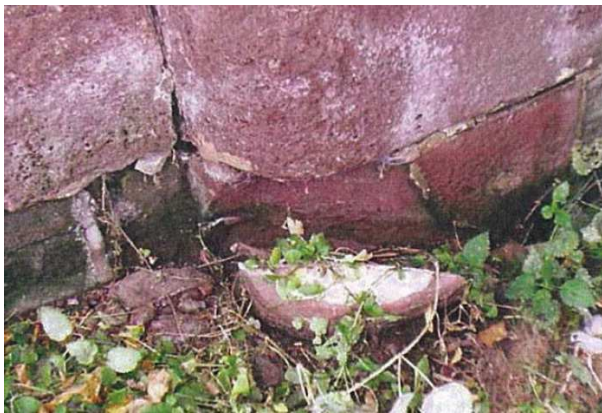
### 2.1.5 Gewichtsbeschränkung einzelner Bruchsteinquader

Die Stückgewichte sollten aus Lagersicherheitsgründen im Wandabschlussbereich **60 kg** nicht unterschreiten und aus Gründen der Hebezeuggrenzlasten (Greifer) und Verarbeitbarkeit im Sohlbereich **3500 kg** (4000 kg) nicht überschreiten.

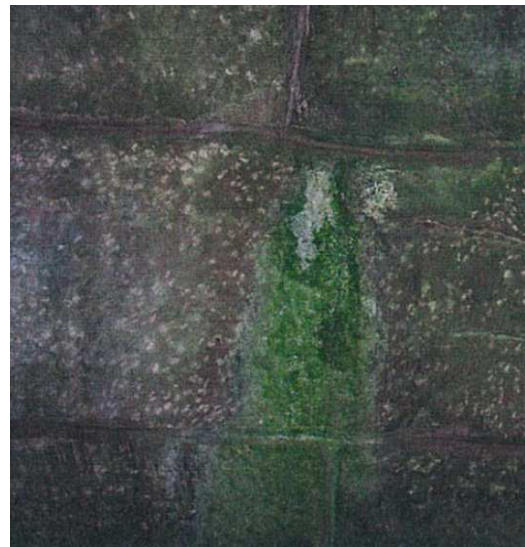
### 2.1.6 Schadensbilder

Folgende Schadensbilder durch die Wirkung von Natursteinverwitterung können entstehen:

- Risse (lagerungsbedingt, abbaubedingt, eingeprägt, Zwang, Kantenpressung)
- Absanden
- Abblättern
- Schalenbildung
- Zerfall / Zermürbung / Entfestigung
- Ausblühen / Krustenbildung / Versalzung



**Abbildung 5:**  
Schalenbildung nach [8]



**Abbildung 6:**  
Ausblühen / Krustenbildung /  
Versalzung nach [8]



## **2.2 Böschung**

### **2.2.1 Anforderungen an das Material**

Folgende Anforderungen für Böschungsmaterialien sind zu erfüllen:

- geringes Setzungsvermögen
- Widerstand gegen Verwitterung
- gute Tragfähigkeit
- geringes Wasserhaltevermögen
- gute Wasserdurchlässigkeit

Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, sind Maßnahmen einzuleiten (z.B. Einsatz von Geotextilen, Spritzbeton u.a.).

### **2.2.2 Dimensionierung**

Die Dimensionierung und Gestaltung der Böschung ist überwiegend abhängig von der Funktion der Mauer.

Wird die Trockenmauer als Futtermauer dimensioniert, so darf die Mauer keine Kräfte aus der Böschung aufnehmen. Das bedeutet wiederum für die Böschung, dass kein Erddruck in ihr entstehen darf, der sich als Einwirkung auf die Mauer auswirkt. Die Böschung muss in sich stabil sein. Bei dieser Ausführung darf auf ein Fundament verzichtet werden, wenn die Standfestigkeit gewährleistet ist.

### 2.2.3 Böschungswinkel

Der Winkel einer Böschung ist maßgeblich für die Stabilität einer Böschung.

Im Tiefbau versteht man unter dem Begriff der Böschung das Abböschchen von Baugruben und Gräben. Hierbei gilt die DIN 4124 „Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten“ [19]. Dabei unterscheidet man je nach Typ des Baugrunds, welcher Winkel ausführbar ist. Diese Werte sind einzuhalten.

Winkel	Typ des Baugrunds
45°	bindige Böden weiche bindige Böden
60°	steife Böden halbfest bindige Böden
80°	feste bindige Böden Fels

**Tabelle 3:**  
Böschungswinkel nach [19]

Im Verkehrsbau werden Böschungen ausgebildet, wenn ein Höhenunterschied vorliegt (z.B. zwischen Straßenquerschnitt und anstehendes Gelände). Dabei unterscheidet man zwischen der Einschnitts- und der Dammböschung, sowie dem Anschnitt. Die Böschungen werden mit einer Neigung von 1:1,5 hergestellt für Höhen  $\geq 2,0$  m.

<b>Böschungstyp</b>	<b>Erklärung</b>
Einschnittsböschung	Straßenquerschnitt liegt unterhalb des anstehenden Geländes
Dammböschung	Straßenquerschnitt liegt oberhalb des anstehenden Geländes
Anschnitt	Straßenquerschnitt schneidet einseitig ins Gelände ein

**Tabelle 4:**  
Böschungsarten nach [19]

#### **2.2.4 Sicherung**

Bei der Sicherung der Einschnittsböschung unterscheidet man zwischen einer konstruktiven und einer statischen Sicherung. Der Unterschied zwischen beiden liegt darin, dass sich nach statischen Erfordernissen die Nagelanordnungen und Nagellängen im Gegensatz zu der konstruktiven Sicherung ändern. Zu sichernde Bereiche, sowie die Gestaltung der Sicherung sind von einem Geotechniker festzulegen.

Eine konstruktive Sicherung ist wichtig, um den Fels im Verlauf der Errichtung der Mauer vor Ausbrüchen zu schützen. Eine Variante wäre die Anwendung einer Spritzbetonschale. Im Bereich des Böschungsknickes wird zusätzlich durch Maschendraht, der mit der Böschung vernagelt wird, gesichert. Die Rasterabstände und die Menge der Nägel oder Daueranker sind ebenso von einem Geotechniker zu bestimmen.

Die Arbeitsschritte für eine konstruktive Sicherung sehen wie folgt aus:

1. Beräumung der Felsoberfläche
2. Herstellen der Bohrung für die Nägel, mit gleichzeitigem Einmessen und Notieren der Vernagelungsraster. Einbau der Nägel mit Zentrierung im Bohrloch über Abstandhalter.
3. Verfüllen des Ringraumes zwischen Nagel und Bohrlochwand mit Zementmörtel und anschließendem Verpressen.

4. Herstellen der ersten Spritzbetonschale und Anbringen der konstruktiven Mattenbewehrung.
5. Herstellen der zweiten Spritzbetonschale
6. Perforieren der zwei Lagen Spritzbetonschale

Das Perforieren ist sehr wichtig für die Entwässerung. Die Bohrlöcher ermöglichen ein staufreies Abfließen des anfallenden Schichten- und Sickerwassers.

Bei Ausbrüchen, die geologisch bedingt sind, ist die Felswand mit Spritzbeton und mit einer zusätzlichen Vernagelung auszugleichen und zu sichern. Die Mattenbewehrung muss formschlüssig aufgelegt werden, gegen Rückfedern und Flattern mit vorgebohrten Löchern und Bolzen gesichert werden.

Die Sicherung der Böschung erfolgt in der Regel mit einer Böschungsneigung 8:1 und im Übergangsbereich zur oberen Böschung der Böschungsschulter mit einem Übergang von 8:1 zu 1:1,5. Die unteren 2,0 m, ab Oberkante Untergrund, der 8:1 Böschung erfordert keine konstruktive Böschungssicherung.

#### **2.2.4.1 Maßnahmen zur Sicherung**

Folgende Maßnahmen können zur Sicherung von Böschungen ergriffen werden:

- Verringerung der Böschungsneigung
- Entwässerungsmaßnahmen
- Gegengewichtsschüttung
- Anwendung Ingenieurbotanik (Einsatz von Pflanzen zur Bodenverfestigung)
- Abstützen der Böschung durch Mauern
- Einsatz von Geotextilien (Verhinderung des Abrutschens)

## **2.2.5 Standsicherheit**

Die Standsicherheit der Böschung ist rechnerisch nachzuweisen, falls im Ergebnis der Erkundung ein Nachweis erforderlich ist. Der Boden bzw. Fels ist im Bereich des Abtrags profilgerecht zu lösen. Sind Sprengungen erforderlich, so müssen sie auf eine Weise erfolgen, dass sie schonend für das Gebirge sind und somit keine Auflockerungen über das Profil hinaus entstehen.

### **2.2.5.1 Bodenbewegungen**

Die auftretenden Bodenbewegungen können durch den Einfluss von Bewegungsvorgängen und Gravitation entstehen. Die Gravitation sorgt dafür, dass die Erdmassen in Richtung des Böschungsfußes bewegen wollen. Zu den Bewegungsvorgängen kann man Kriechen, Gleiten, Fließen und Kippen zählen. Im Allgemeinen handelt es sich bei den Vorgängen um eine Störung des Kräftegleichgewichts in der Böschung.

#### Ursachen

Die Ursachen können sowohl auf natürliche Weise entstehen sowie durch den Einfluss des Menschen.

Wichtige Ursachen für die Entstehungen von Bodenbewegungen können sein:

- hohe Durchfeuchtung (z.B. defekte Entwässerungsleitungen, starker Niederschlagsanfall)
- Erschütterungen (z.B. Erdbeben, Verkehr)
- Änderung der Belastung (z.B. Errichten von Bauwerken)

Diese Faktoren können Folgen mit sich führen:

- Änderungen von Spannungen
- Konsistenzänderung
- Strömungsdruck

### Anzeichen

Die Entstehung von Bodenbewegungen kann folgende Anzeichen haben:

- Auftreten von Rissen oder Spalten
- Verbreiterung von Böschungen am Böschungsfuß
- Auflockerungen des Materials
- Aufwölbung der Böschung
- starke Durchfeuchtung der Böschung

## **2.3 Gründung**

### **2.3.1 Anforderungen an die Gründung**

Folgende Anforderungen müssen von einer natürlichen Gründung erfüllt werden:

- frostsicher
- Lastabtrag der Mauer in den Boden
- Entwässerung durch wasserdurchlässiges Material
- Ausgleichsschicht durch Ausgleichen von Unebenheiten des Untergrunds
- Nachweis über ausreichende Sicherheit der Tragfähigkeit

Damit die Anforderungen erfüllt werden können, müssen Informationen über die entsprechenden Baugrund- und Grundwasserverhältnisse vorliegen.

### **2.3.2 Anforderungen an den Baugrund**

Folgende Anforderungen müssen von dem Baugrund, in dem gegründet werden soll, erfüllt werden:

- Nachweis über ausreichende Sicherheit der Tragfähigkeit (Kennwerte aus statischen Berechnungen zu entnehmen)
- Felsuntergrund muss so bearbeitet werden, dass Standsicherheit der Mauer nicht beeinflusst wird.
- geringes Setzungsvermögen
- Widerstand gegen Verwitterung
- geringes Wasserhaltevermögen
- gute Wasserdurchlässigkeit

Sollten die Anforderungen nicht erfüllt werden, so sind entsprechende Maßnahmen (z.B. Bodenverbesserung) zu ergreifen.

### **2.3.2.1 Verbesserung des Baugrunds**

Die Verbesserung des Baugrunds findet dann statt, wenn er die festgesetzten Anforderungen nicht erfüllen kann. Es werden Maßnahmen durchgeführt, um die Standsicherheit zu gewährleisten und die Tragfähigkeit des Bodens zu verbessern. Die Maßnahmen, die dafür in Frage kommen, sind der Bodenaustausch, die Bodenverfestigung und die Bodenverdichtung. Des Weiteren können auch Tiefgründungen zum Einsatz kommen wenn es die Anwendung erfordert.

### **2.3.3 Dimensionierung**

Die Gründung einer Trockenmauer ist frostfrei im anstehenden Boden bzw. Fels auf einem Planum auszubilden.

Für die Gründung einer solchen Mauer kommen zwei Möglichkeiten im Bezug auf die Ausführung in Frage.

Zum Einen kann die Mauer durch eine Ausgleichsschicht gegründet sein. Dafür kommen kornabgestufte Gemische aus gebrochenem Material oder Kies-Sand-Gemische als Ausgleichsschicht in Frage, die beim Einbau verdichtet werden. Diese Schicht sollte eine Mindestdicke von 10 cm aufweisen.

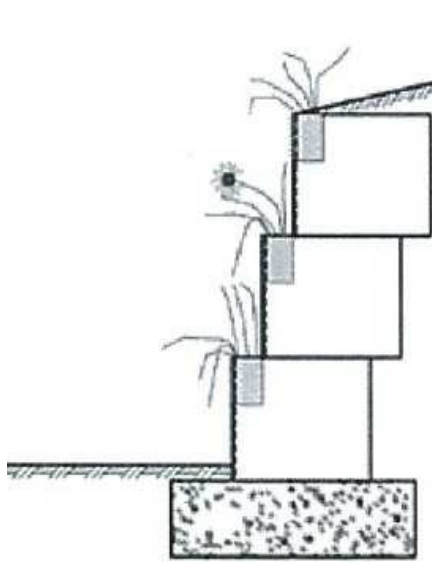
Soll eine Gründung aus Beton errichtet werden, dann sollte sie mindestens die Betonklasse C8/10 aufweisen und mit ausreichender Dicke dimensioniert sein. Der Beton ist dabei unbewehrt auszuführen. Ist aus statischen Gründen ein Fundament vorzusehen, dann sollte das Betonfundament eine Betonklasse von mindestens C20/25 aufweisen.

Minimale Anforderungen an Betonfundamente: C25/30, XC2, XA2,  $D_{\max}$  32mm

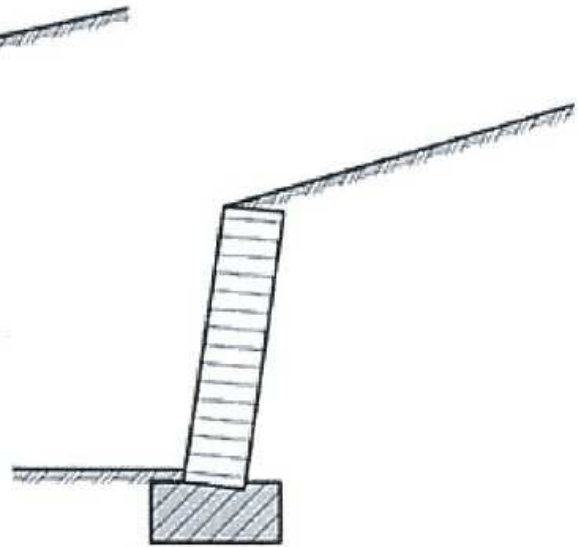
Für die Gründung sind im Einzelfall entsprechend statische Nachweise zur Gesamtstandsicherheit zu führen.

Welche Möglichkeit letztendlich in Betracht gezogen wird, wird durch den Geotechniker abgestimmt oder ist einem Baugrundgutachten zu entnehmen.



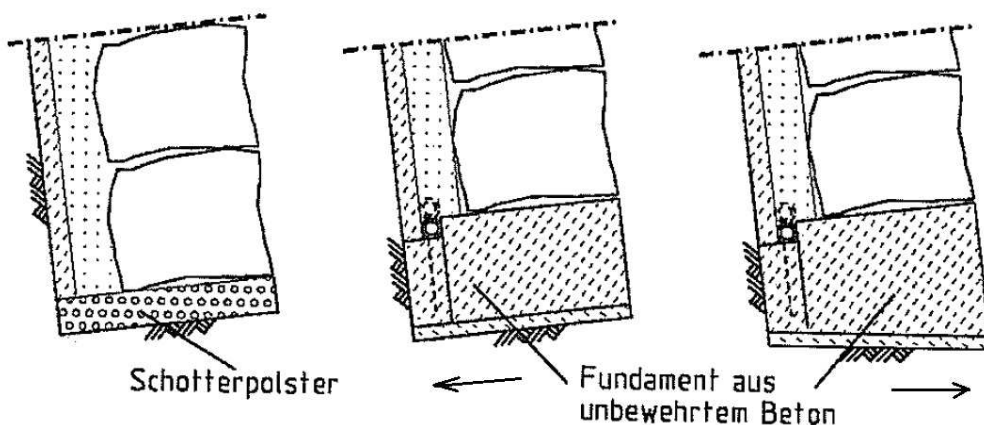


**Abbildung 7:**  
Gründung mit Ausgleichsschicht nach [6]

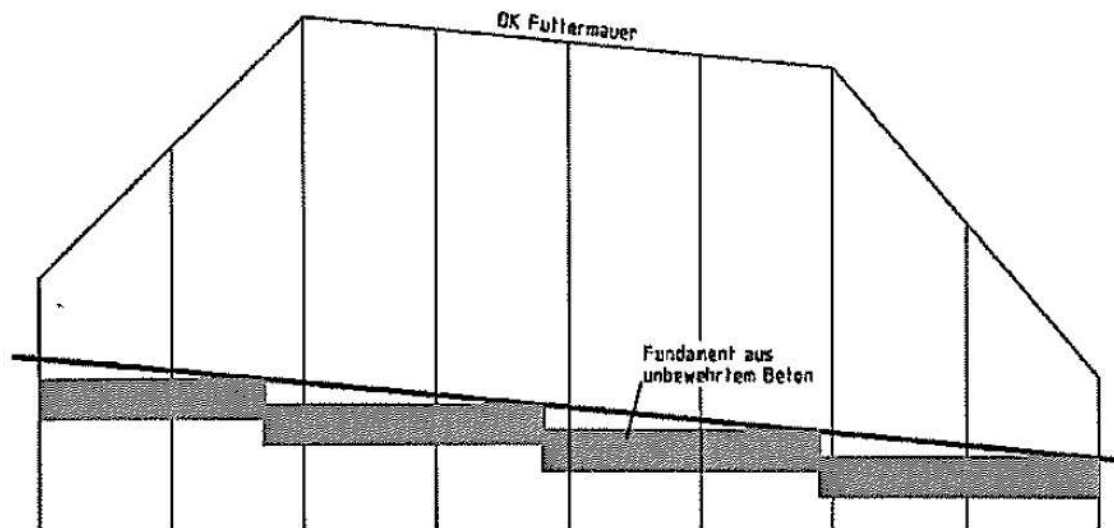


**Abbildung 8:**  
Gründung mit Fundament nach [6]

Des Weiteren ist das Längsgefälle des Untergrundes in abgetreppter Form zu gestalten. Die Abstufung der Baugrubensohle orientiert sich an der Gradienten der Straßenachse und der Geometrie der geplanten Futtermauer. Das Quergefälle ist abhängig von der Gründungsart auszubilden. Das heißt, bei einer Gründung mittels Schotterpolster ist das Quergefälle der Neigung der Mauer gleichgesetzt. Wird eine Ausgleichsschicht aus Beton geplant, kann die Querneigung des Untergrundes vernachlässigt werden und wird später mit der Ausgleichsschicht in der Sohlfuge der Mauer realisiert.



**Abbildung 9:**  
Ausbildung Querneigung nach [8]



**Abbildung 10:**  
Ausbildung Längsgefälle über Abtreppung nach [8]

## 2.3.4 Gründungstiefe

### 2.3.4.1 Bezug auf die Mauerhöhe

Man kann folgende Aussagen über die Tiefe des Aushubs im Bezug der Mauerhöhe treffen.

	Aushubtiefe	Dicke Fundament (verdichtet)
Niedere Stützmauer (bis 1 m ) Freistehende Mauer	40 – 60 cm	20 – 30 cm
Höhere Stützmauer (ab 1 m )	80 cm (Frostschutztiefe)	50 – 60 cm
Statische Stützmauer	80 cm (Frostschutztiefe)	Betonfundament notwendig

**Tabelle 5:**  
Tiefe des Aushubs im Bezug der Mauerhöhe

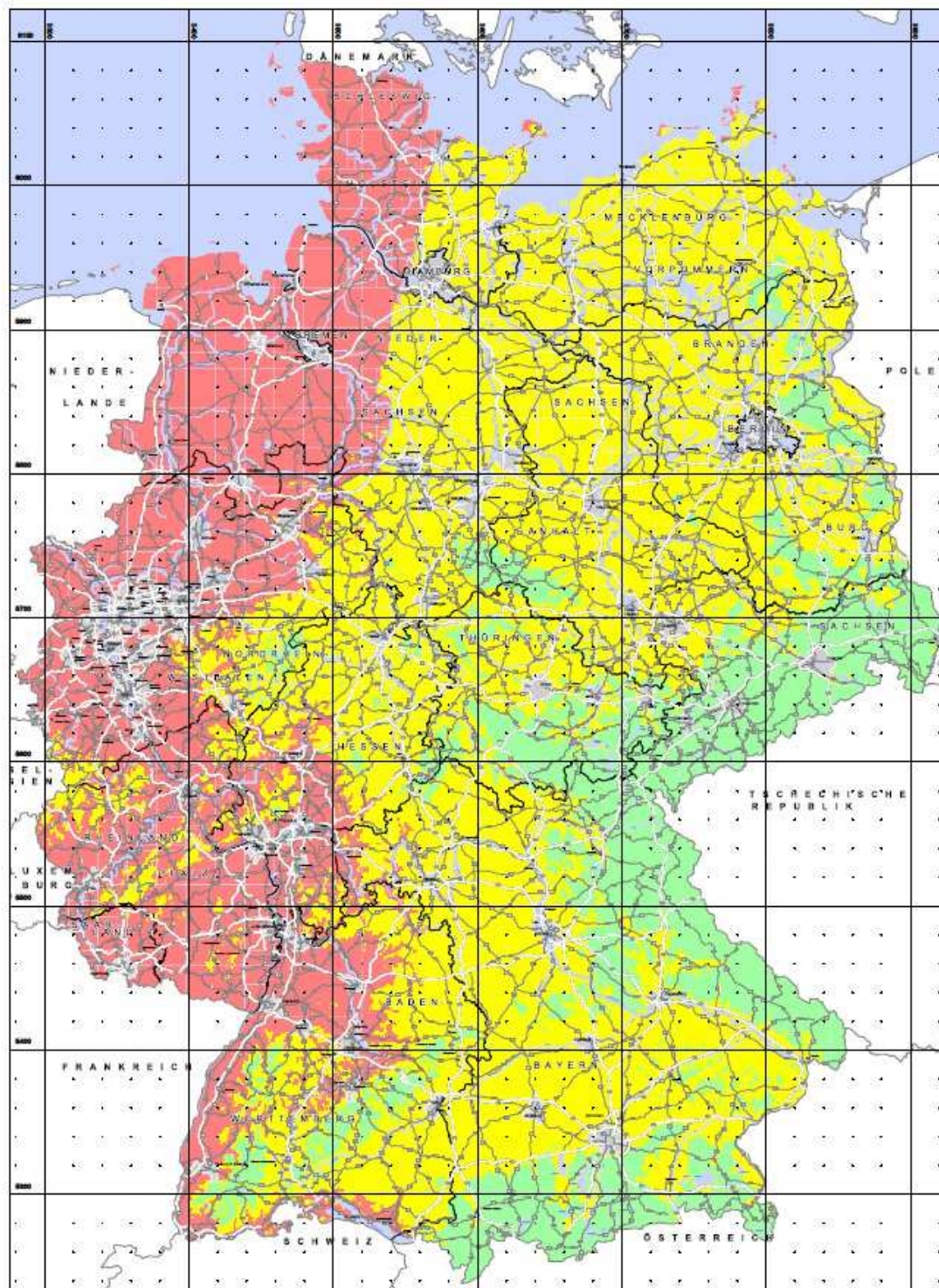
### **2.3.4.2 Bezug auf die Frosteinwirkungszonen**

Unter Beachtung der Frosteinwirkungszonen wird die Gründungstiefe nach der RStO 12 „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ [12] bestimmt.

Nach [12] unterscheidet man zwischen der Frosteinwirkungszone I, II und III:

	I	=	geringe Frostgefährdung, geringe Eindringtiefe
Frosteinwirkungszone	II	=	mittlere Frostgefährdung, mittlere Eindringtiefe
	III	=	große Frostgefährdung, große Eindringtiefe

Die Frosteinwirkungszonenkarte für Thüringen ist über das TLBV bzw. die Straßenbauämter zu erfragen.



Legende:

- Frosteinwirkungszone I
- Frosteinwirkungszone II
- Frosteinwirkungszone III

Darstellung:

Frosteinwirkungszone Deutschland  
nach RStO

**Abbildung 11:**  
Frosteinwirkungszone von Deutschland nach [1]

## 2.4 Hinterfüllung

### 2.4.1 Anforderungen an die Hinterfüllung

Es gilt das „Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung von Bauwerken“ [13] und die Anforderungen der ZTV E-StB „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau“ [14].

Das Hinterfüllmaterial muss gemäß der Dienstanweisung 11/2008-33/7 „Einsatz von Gesteinskörnungen als Dränagematerial“ [15] bestimmte Anforderungen einhalten:

- Schlagzertrümmerungswert gemäß TL Gestein-StB, Anhang A
- Widerstand gegen Frost:  $F_4 \leq 4 \text{ mm}$
- Gehalt an Feinanteilen  $D \leq 0,063 \text{ mm}$ :  $f_1 \leq 1,0 \text{ M.-%}$
- Mindestkorngröße:  $\geq 4 \text{ mm}$ , Maximale Korngröße:  $\leq 80 \text{ mm}$
- für Über- und Unterkorn gelten die Anforderungen der Kategorie  $G_c 80/20$
- die Durchlässigkeit des Dränagematerials ist im Laborversuch nachzuweisen und ein Richtwert von  $\geq 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  einzuhalten
- die hydraulische und/oder mechanische Filterstabilität ist bereits im Rahmen der Planung nachzuweisen
- Carbonatgehalt  $\leq 35 \text{ M.-%}$  zur Vermeidung der Versinterungsgefahr

Wenn der Erdkörper nicht durch eine Dichtungsbahn vom Hinterfüllbereich getrennt ist, dann gelten die Anforderungen an die bodenchemischen Eigenschaften des Füllmaterials auch für das Hinterfüllmaterial.

### 2.4.2 Dimensionierung

Die Schicht der Hinterfüllung soll als Dränage ausgebildet sein. Das bedeutet, es muss Material zur Anwendung kommen, das filterstabil und wasserdurchlässig ist. Das anfallende Wasser soll in dieser Schicht abgeleitet werden können. Wenn es erforderlich ist, kann ein zusätzliches Dränagerohr eingebaut werden (bei großem Wasserzutritt).

Für das zuverwendende Material sind i. d. R. Kornklassen der Hinterfüllungen von 16/32 vorgesehen. In Frage kommen natürliche Gesteinskörnungen/-körnungsgemische [15].

Die Dicke der Hinterfüllung sollte in der Planung nicht mehr als ca. **0,30 m** betragen, da es sonst zum Aufbau von Silodruck kommen kann. Es könnte zu Ausbeulungen bzw. Versagen der Futtermauer kommen. Lokale Abweichungen der Dicken bis ca. 0,70 m können bei

Mauerhöhen bis 2 m toleriert werden. Bei Mauerhöhen größer 2 m wird die Hinterfüllung bis maximal 0,50 m Dicke dimensioniert.

## **2.5 Entwässerung**

### **2.5.1 Allgemeines**

Bei der Entwässerung einer Trockenmauer sind das aus der Böschung heraustretende Schichtenwasser und das anfallende Oberflächenwasser im Böschungs- und Hangbereich abzuleiten. Da die Natursteinmauer gute Durchlässigkeit- und Drainageeigenschaften besitzt, kann das Schichtenwasser meist vernachlässigt werden. Verantwortlich für diese Eigenschaften sind die zwischen Stein und Fels bzw. Spritzbetonschale angeordnete Dränageschicht und die Durchlässigkeit der Natursteinwand. Die Dicke der Hinterfüllung ist aus den statischen Berechnungen zu entnehmen. Man kann aber von einem Richtmaß von bis zu 0,30 m bis 0,50 m ausgehen.

Vor dem Betonieren der Fundamente bzw. der Herstellung der Gründungspolster müssen alle querenden Abschlüge, die zwischen den Schächten der Fahrbahntwässerung und den Entwässerungseinrichtungen hinter der Futtermauer verlaufen, verlegt werden.

### **2.5.2 Möglichkeiten für Entwässerung**

Damit sich kein Staudruck aufbauen kann, muss eine ordnungsgemäße Entwässerung der Mauer vorgenommen werden. Möglichkeiten dafür sind:

- Entwässerungsöffnungen in der Mauer
- Entwässerungsschlitze in der Mauer
- Entwässerungsschlitze an der Rückseite der Mauer
- Filterbeton an der Rückseite der Mauer (ca. 0,15 – 0,40 m dick)
- Abschlauungen

### 2.5.3 Schichtenwasser

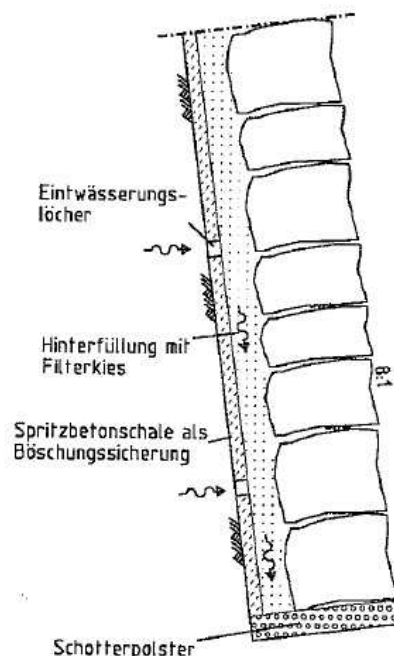
In Abhängigkeit zur Gründung gibt es mehrere Möglichkeiten um das Schichtenwasser abzuführen.

#### Möglichkeit 1: Gründung mit Schotterpolster auf einem wasserunempfindlichen Untergrund

Hat der Untergrund ein ausreichendes Längsgefälle, so kann das Wasser über das Schotterpolster bis zum Ende der Mauer abgeführt werden. Über eine Mulde wird das Wasser dem Gelände oder der Straßenentwässerung zugeführt.

Ist ein Tiefpunkt vorhanden so müssen weitere konstruktive Maßnahmen ergriffen werden, um das Wasser abzuleiten. Das kann bei einer Felssohle über Rigolen geschehen, die in den erforderlichen Abständen an die Fahrbahnenentwässerung anbinden.

Es wird ein Sickerrohr mit einem Durchmesser von mindestens 100 mm verwendet. Der Minstdurchmesser ergibt sich aus Wartungsgründen. Zu klein dimensionierte Durchmesser machen eine Wartung bzw. Reinigung des Rohres schwierig (Spülbarkeit). Die Anwendung von Rohren als T-Stücke und rechtwinklige Richtungsänderungen und Knicke ist zu vermeiden.

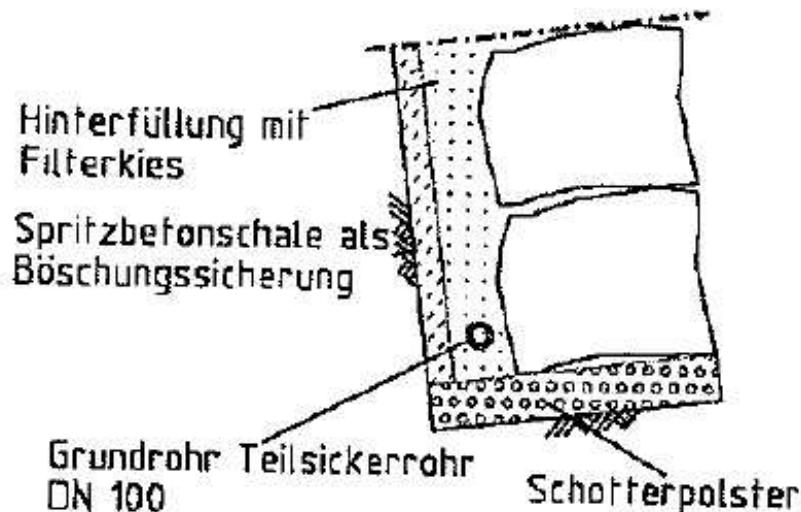


**Abbildung 12:**  
Gründung eines Schotterpolsters nach [8]



### Möglichkeit 2: Gründung mit Schotterpolster auf einem wasserempfindlichen Untergrund

Um ein Aufweichen des Untergrundes zu verhindern, muss das Schichtenwasser mit einem Sickerrohr abgeführt werden. Dieses Rohr sollte sich am Fußpunkt zwischen Mauer und Felsböschung über dem Schotterpolster befinden. Unter dem Rohr sollte das Weiterfließen des Wassers verhindert werden zum Beispiel durch den Einsatz einer Abdichtung. Das Sickerrohr muss mit einem Mindestgefälle von 0,3 % hergestellt werden.



**Abbildung 13:**  
Gründung mit Schotterpolster und Drainage nach [8]

Auch bei dieser Variante kann das Wasser bis zum Ende der Mauer fließen und dort durch einen Schacht entwässert werden.

Es wird ein Sickerrohr mit einem Durchmesser von mindestens 100 mm verwendet. Der Minstdurchmesser ergibt sich aus Wartungsgründen. Zu klein dimensionierte Durchmesser machen eine Wartung bzw. Reinigung des Rohres schwierig.

### Möglichkeit 3: Gründung mit Ausgleichsschicht (**Abbildung 14**)

Bei dieser Variante muss ein Sickerrohr angeordnet werden. Es befindet sich am Fußpunkt zwischen Ausgleichsschicht und Felsböschung auf einem Dränagesockel min. 10 cm unter Oberkante der Ausgleichsschicht. Der Dränagesockel garantiert, dass keine Setzungen auftreten und ein gleichmäßiges Gefälle von  $\geq 0,3 \%$  hergestellt werden kann. Das Wasser kann so am Ende der Mauer in einem Schacht der Straßenentwässerung abgeführt werden. Sollte sich ein Tiefpunkt in der Mauer befinden, so ist das Wasser dort abzuführen und in die örtliche Entwässerung einzuleiten.



## 2.5.4 Oberflächenwasser

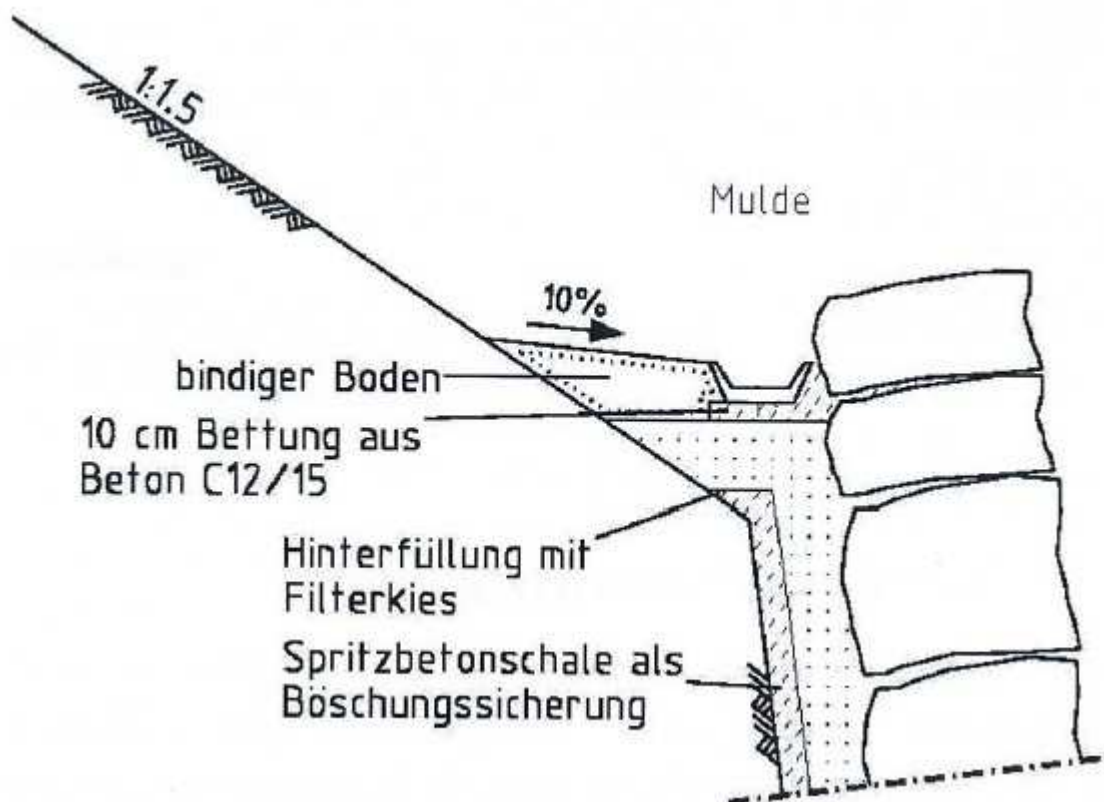
Es ist darauf zu achten, dass außer der direkt an der Futtermauer anschließenden Böschung keine anderen Flächen oder Bauwerke in die Futtermauer entwässert werden. Oberflächenwasser, das von Wegen oder Flächen über die Böschung entwässert könnte, muss im Vorfeld über eine Mulde oder ähnliches abgeführt werden.

Es ist nötig, dass im Vorfeld durch hydraulische Berechnungen, die Menge an Oberflächenwasser bestimmt wird, welches über die Futtermauer entwässern soll.

Möglichkeit 1: kein anfallendes Oberflächenwasser aus dem Hang- oder Böschungsbereich

In diesem Fall kann auf eine zusätzlich konstruktive Maßnahme verzichtet werden. Es kann über die Hinterfüllung entwässert werden.

Möglichkeit 2: anfallendes Oberflächenwasser aus dem Hang- oder Böschungsbereich

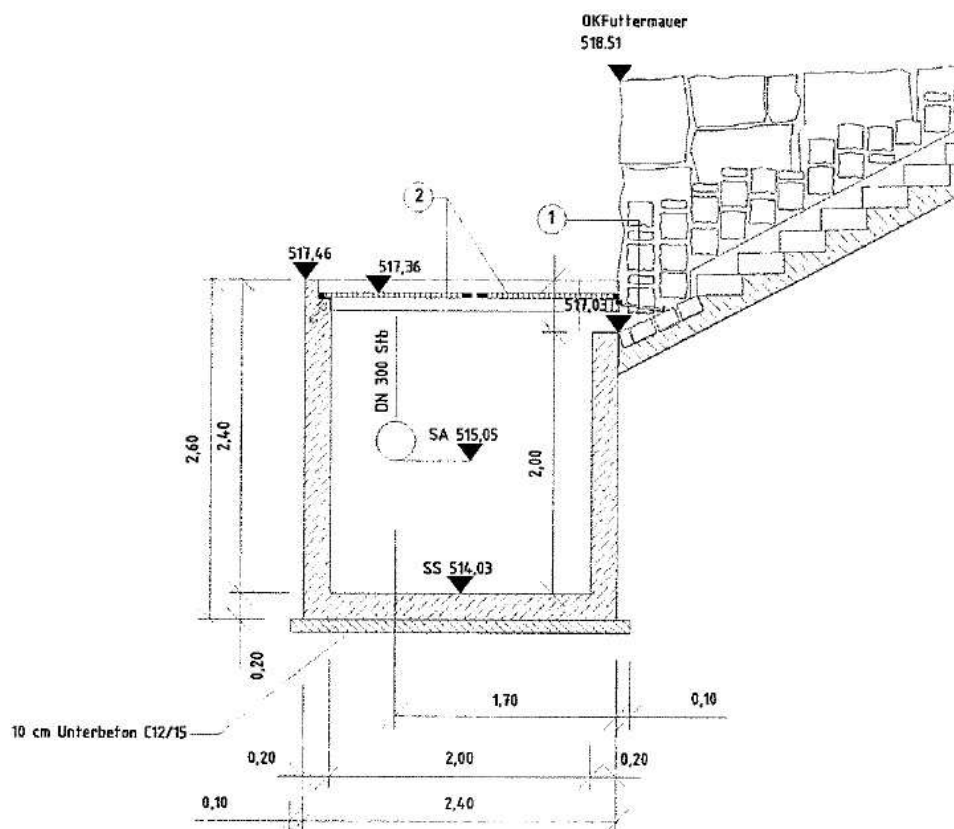


**Abbildung 15:**  
Ausbildung Oberflächenentwässerung nach [8]

In diesem Fall sollte die Entwässerung des Hang- oder Böschungsbereiches immer über eine Mulde erfolgen. Die Mulde ist aus sicherheitstechnischen Gründen  $\geq 90$  cm unterhalb der Oberkante des Kopfsteines anzuordnen. Sie ist so zu verlegen, dass das anfallende Oberflächenwasser nicht durch das Hinterfüllmaterial gelangen kann. Das kann durch Verlegen in Beton und bzw. oder durch Auffüllen mit bindigem Boden geschehen.

Am Ende der Trockenmauer wird das Wasser direkt in die vorhandene Straßenentwässerung abgeleitet.

Dieses kann über eine Mulde oder einen Schacht erfolgen. Ist der Höhenunterschied zwischen Mulde am Mauerende und der Straßenentwässerung zu groß, sollten die Endbereiche der Mulde in eine Kaskade übergehen. Eine Kaskade nimmt dem gesammelten Wasser die Energie und ermöglicht auch bei viel anfallendem Oberflächenwasser ein gleichmäßiges Abfließen. Ist mit anfallenden Feinstbestandteilen zu rechnen muss ein Sandfang (**Abbildung 16**) zwischengeschaltet werden.



**Abbildung 16:**  
Detaildarstellung Längsschnitt Sandfang nach [8]

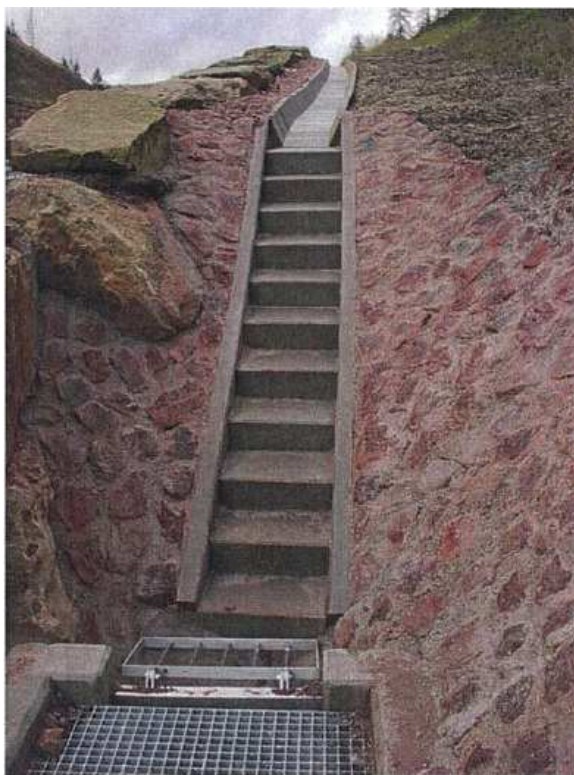




**Abbildung 17:**  
Entwässerung über Kaskaden in Mulde nach [8]



**Abbildung 18:**  
Entwässerung in Mulde nach [8]



**Abbildung 19:**  
Entwässerung über Sandfang mit Anschluss an die Fahrbahntwässerung nach [8]



**Abbildung 20:**  
Sandfang mit Anschluss an die Fahrbahntwässerung nach [8]

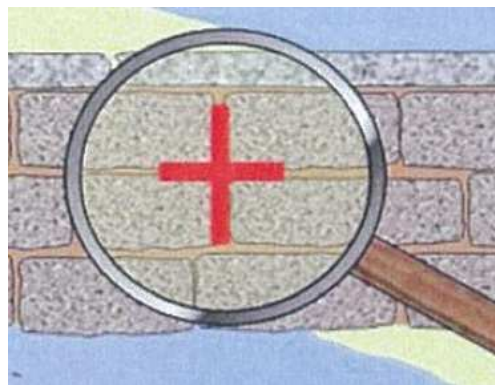
## 2.6 Verband

### 2.6.1 Anforderungen an den Verband

Es gilt die DIN 1053-1 „Rezeptmauerwerk – Berechnung und Ausführung“ [7] sowie das „Merkblatt für einfache landschaftsgerechte Sicherungsbauweisen“ [16].

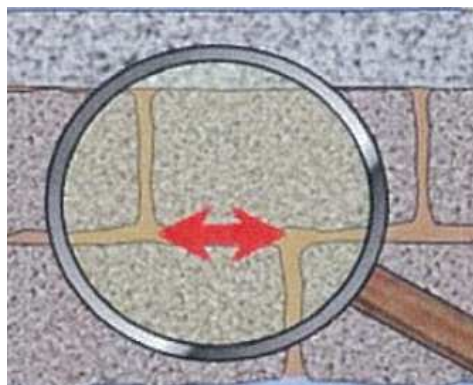
Für den Verband des Trockenmauerwerks sollen in Anlehnung an die Regelungen von Natursteinmauerwerk folgende Anforderungen eingehalten werden:

- Steine dürfen nicht schmaler als  $\frac{1}{4}$  ihrer Länge sein.
- Steine sollen mindestens 25 cm lang sein.
- Es dürfen nicht mehr als drei Fugen aufeinandertreffen.
- Stoßfugen dürfen nicht über mehr als zwei Schichten durchgehen.



**Abbildung 21:**  
Falsche Anordnung der Stoßfugen

→ Die Überdeckung der Stoßfugen soll in Anlehnung an Schichtenmauerwerk 100 mm und bei Quadermauerwerk mindestens 150 mm betragen. Die Überdeckung ist an die Proportionen der Einzelquader anzupassen!



**Abbildung 22:**  
Überdeckung der Stoßfugen



- Lagerfugen sind rechtwinklig zur Mauerneigung auszuführen.
- Kreuzfugen sind zu meiden



**Abbildung 23:**  
Kreuzfugen

- Entweder auf zwei Läufer muss mindestens ein Binder kommen oder Binderschichten wechseln sich mit Läuerschichten ab.
- Die Binder sollten etwa das 1,5-fache der Schichthöhe aufweisen. (mindestens 300 mm) (Tiefe)
- Es müssen genügend Binderschichten eingebaut werden (mindestens jede 4. Schicht).
- Die Läufer sollten so dick wie die Schichthöhe sein. (Tiefe)
- An den Ecken sollten die größten Steine (gegebenenfalls in Höhe von zwei Schichten) eingebaut werden.
- Steine nicht hochkant einbauen



**Abbildung 24:**  
Fehlerhafter Einbau der Steine

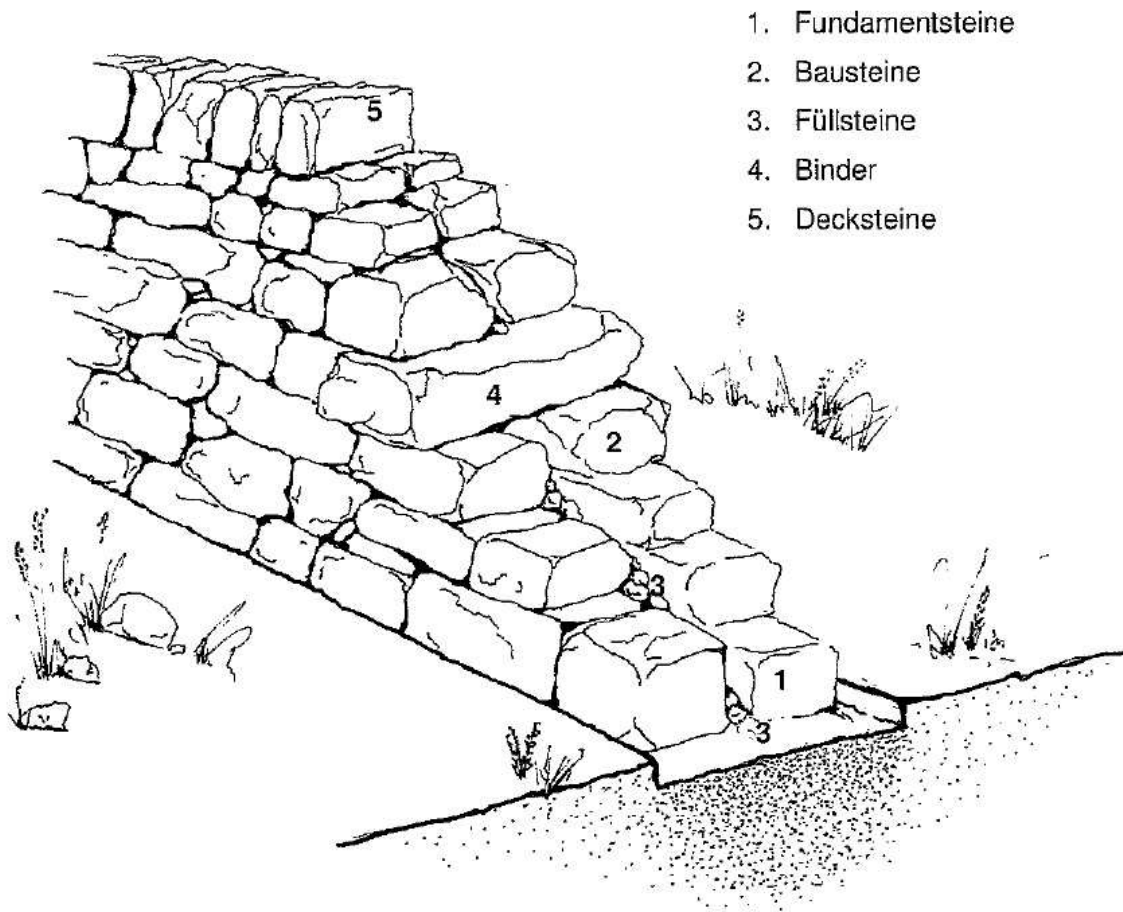
- Decksteine sollen quaderförmig sein (runde Steine sind ungeeignet).
- Es sollten Lasten und Kräfte aus Eigenlast und Silodruck gleichmäßig auf den gesamten Mauerquerschnitt verteilt werden.

### 2.6.2 Funktion der Steine

Art der Steine	Funktion
Decksteine	- Abschluss der Mauer
Binder	- Verankerung der Mauer - Verbindung der Sichtsteine mit der Hintermauerung bei Stützwänden
Füllsteine	- Ausfüllen von Hohlräumen - Fixierung der Steine
Hintermauerungssteine	- größere Steine - Hintermauern zwischen den Sichtflächen oder zwischen Sichtfläche und Hinterfüllung
Bausteine (Läufer)	- mindestens eine flache Seite und keine Spitzen - eine Seite ist Sichtfläche
Fundamentsteine	- große, flache Steine - hohe Tragfähigkeit (gesamtes Gewicht der Mauer)

**Tabelle 6:**  
Funktion der Steine nach [3]





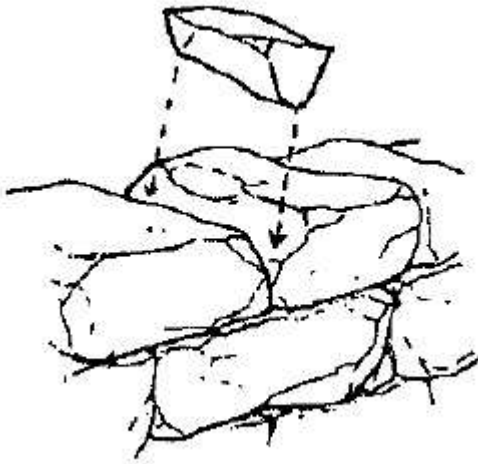
**Abbildung 25:**  
Aufbau einer Trockenmauer nach [3]

### 2.6.3 Verlegen der Steine

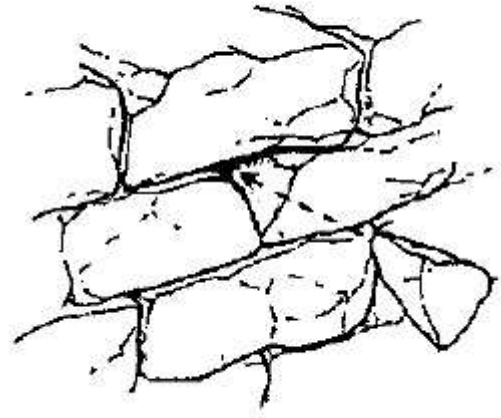
Das Verlegen der Mauer in einem Verband ermöglicht ihr, die Lasten und Kräfte gleichmäßig auf den gesamten Mauerquerschnitt zu verteilen.

Es muss fortschreitend mit dem Mauerbau ein kraftschlüssiger Einbau der Zwickelsteine erfolgen, um zu verhindern, dass diese später als loses Gestein herausfallen können und gegebenenfalls die Verkehrssicherheit beeinträchtigen.

Richtig



Falsch



**Abbildung 26:**  
Steinvorsätze

Sollte festgestellt werden, dass lose Steine vorhanden sind, sind diese in Mörtel zu verlegen. Auch die Wahl der Zwickelsteine ist sehr wichtig.

Bei auftretenden Fugenspalten  $\geq 8$  cm hat ein oberflächenbündiges Schließen der Fugen mit einem Zwickelstein zu erfolgen.

#### Fehlerhafte Ausführung bei Einsatz von Zwickelsteinen

→ lose Zwickelsteine

vorher:





nachher:



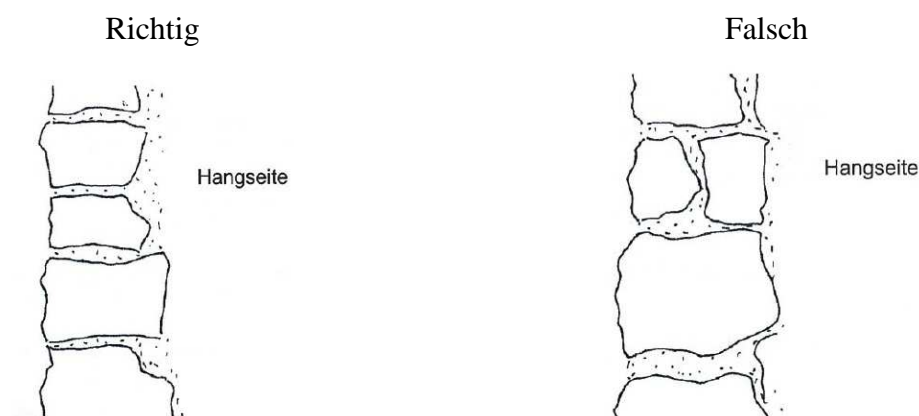
**Abbildung 27:**  
Fehlerhafter Einsatz von Zwickelsteinen - lose Zwickelsteine

→ schadhafte Zwickelsteine



**Abbildung 28:**  
schadhafte Zwickelsteine

Die Oberkante der Futtermauern ist gradientenkonform (horizontal getrept bei großer Längsneigung  $> 3\%$  oder parallel geführt bei einer Längsneigung  $\leq 3\%$ ) auszubilden. Dabei sind geeignete Abschlusssteine bzw. Decksteine zu verwenden. Die Decksteine sind so zu wählen, dass ein Abkippen und Herauslösen durch z.B. Vandalismus ausgeschlossen werden kann. Ggf. kann die Vermörtelung der Decksteine sinnvoll sein. Natursteinblöcke müssen flächig aufliegen und eine punktuelle Auflagerung ist zu vermeiden, da sie Rissbildung hervorrufen können. Natursteine aus sedimenten und metamorphen Gesteinen sollten generell entsprechend ihrer natürlichen Lagerung horizontal bzw. annähernd horizontal verlegt werden. [DIN EN 1996-1-1] Die Fugen und die Gesteinsschichten sind so auszubilden, dass kein Hinterfüllmaterial aus der Sichtfläche austritt. Sollten Steine Bohrlöcher in der Ansichtsfläche aufweisen, so sind diese so zu verlegen, dass die Bohrlochprofile vertikal verlaufen. Bohrlochprofile sollten ggf. nicht auf den Ansichtsflächen auftreten. Das Mauerwerk ist so zu verlegen, dass Steinversätze verhindert werden.



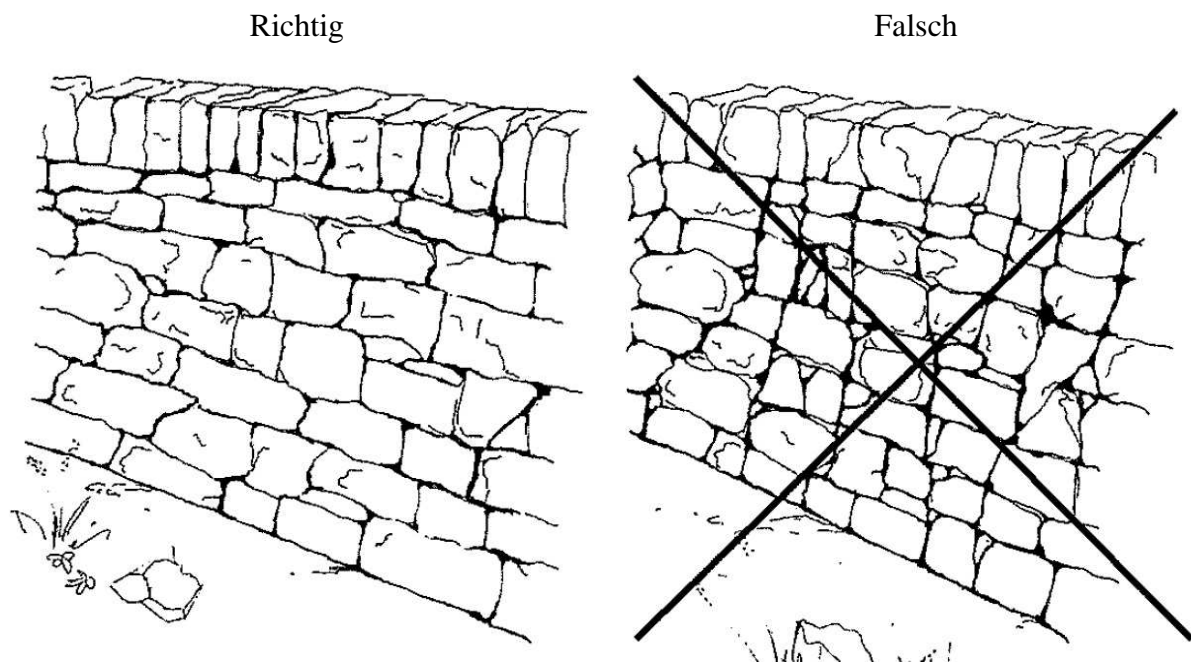
**Abbildung 29:**  
Steinversätze nach [3]

Bossenprofile von ca. 10 cm sind zulässig. Unzulässige Überschreitungen müssen örtlich nachgearbeitet werden. Steinvor- bzw. Steinrücksprünge sind zu vermeiden, allerdings sind Abweichungen  $\leq 10$  cm zugelassen, dabei sind die angrenzenden Steine bezüglich des entstandenen Versatzes örtlich nachzuarbeiten. Steine mit dem größten Format sind in den unteren Lagen des Mauerwerks einzubauen. Allerdings sollte die Anordnung der Steine im Querschnitt und in der Ansichtsfläche der Mauer sich gleichmäßig gestalten, damit ein optisch ansprechendes Bild entsteht und ein Verformen oder Versagen der Wand ausgeschlossen werden kann.

#### 2.6.4 Fugen

Nach [3] unterscheidet man bei den Fugen zwischen zwei Arten, den Lager- und Stoßfugen. Lagerfugen bilden im Allgemeinen die horizontalen Fugen in einer Mauer. Sie entstehen, wenn zwei Steine horizontal aufeinander geschichtet werden. Die sich berührenden Flächen bilden dabei die Lagerfuge.

Stoßfugen bilden im Allgemeinen die vertikalen Fugen in einer Mauer. Sie entstehen wenn zwei Steine vertikal nebeneinander gesetzt werden. Die sich berührenden Flächen bilden dabei die Stoßfuge. Sie sollten in der Regel orthogonal zu den Lagerfugen angeordnet sein.



**Abbildung 30:**  
Fugenbild nach [3]

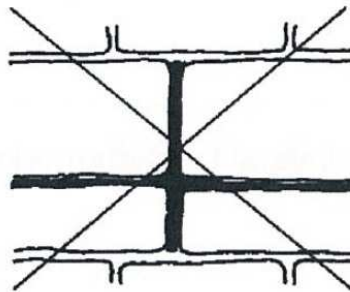
Die Auflagerflächen (Lagerfugen) und Stoßfugen des Trockenmauerwerkes werden je nach Ebenheit der Bruchflächen (Unter- oder Überprofil) mit gebrochenem Gesteinskörnungen 16/32 (Splitt), 32/45 (Schotter) oder 32/56 (Schottergemisch) ausgefüllt und verstopft. Als Splitt-/Schottermaterial ist Festgestein zu verwenden, das durch eine RAP Stra-Prüfstelle güteüberwacht wird und durch das TLBV zugelassen ist. Die Fugenbreiten sollten so klein wie möglich gehalten werden. Es ist wichtig, dass sich jeder Stein berührt und sich mit den anderen verzahnt. Die Fugenbreiten sind abhängig von dem eingesetzten Naturstein und sollten möglichst kleine Längen aufweisen. Die Fugenbreiten sind auf max. 8 cm zu begrenzen. Größere Breiten, Fehlstellen und Zwischenspalten sind nachträglich, händisch mit Keilsteinen (Füllsteine, Zwickel), auszuwickeln. Diese sind nach Erstellung der Mauer und Abklingen der Erstsetzungen und Verformungen nochmals nachzuschlagen.

Das Lagerfugenmaterial sollte mindestens die Festigkeit des eingesetzten Natursteinquadermaterials aufweisen. Zur Vermeidung von Versinterungen ist darauf zu achten, dass der Carbonatgehalt des Lagerfugenmaterials  $\leq 35$  M.-% beträgt.

An der Vorder- und Rückseite dürfen nie mehr als drei Fugen zusammenstoßen. Sie dürfen durch nicht mehr als zwei Schichten reichen.

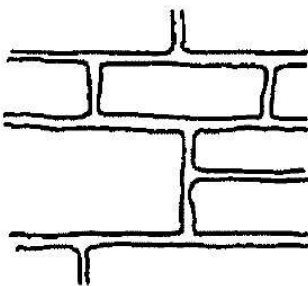
Weitere Ausführungshinweise sind im **Punkt 2.6.1 - Anforderungen an den Verband** enthalten.

Falsch

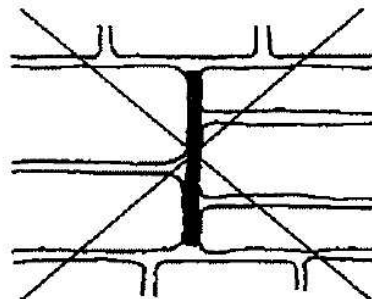


**Abbildung 31:**  
Ausbildung der Kreuzfuge nach [3]

Richtig



Falsch

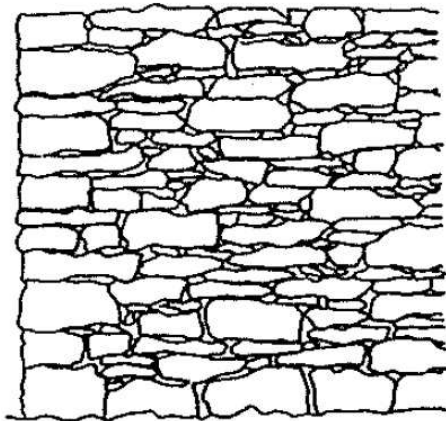


**Abbildung 32:**  
Ausbildung der Stoßfuge nach [3]



### 2.6.5 Beispiele für Mauerwerk aus Naturstein

In Anlehnung an die Mauerwerksnorm DIN EN 1996, Eurocode 6 „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ [10] als Ersatz für die DIN 1053 „Rezeptmauerwerk“ [7] sollen Verbände und Verlegemuster für Trockenmauerwerk in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt werden.



**Abbildung 33:**  
Trockenmauerwerk nach [7]

#### Trockenmauerwerk

Ohne Verwendung von Mörtel sind möglichst enge Fugen herzustellen.

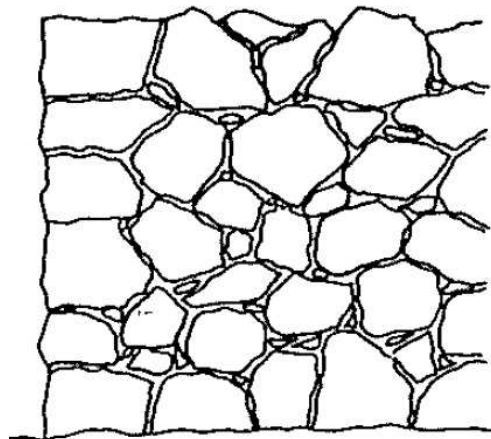
Die Steine sollten dabei nur geringfügig bearbeitet werden.

Hohlräume werden durch kleine Steine ausgefüllt.

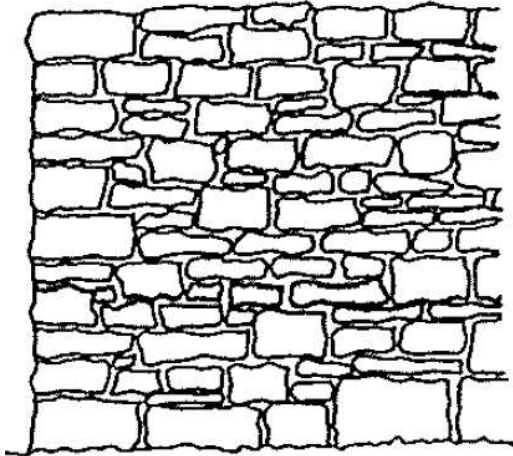
---

#### Zyklopenmauerwerk

Große Bruchsteine, die geringfügig bearbeitet werden können, sind im Verband zu schichten und in Mörtel zu verlegen. Zyklopenmauerwerk ist die Sonderform des Bruchsteinmauerwerks. Das Fugenbild ist unregelmäßig und ohne waagerechte Fugen.



**Abbildung 34:**  
Zyklopenmauerwerk nach [7]



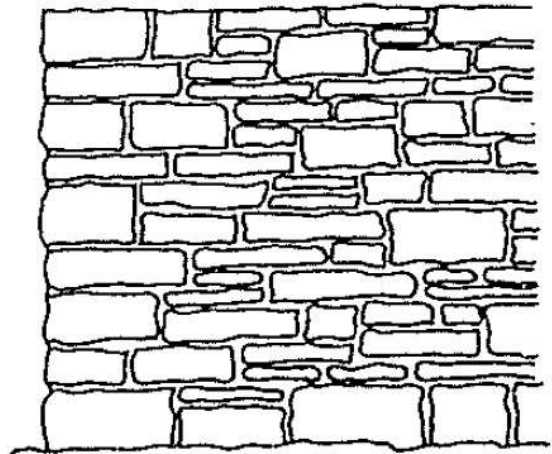
**Abbildung 35:**  
Bruchsteinmauerwerk nach [7]

#### Bruchsteinmauerwerk

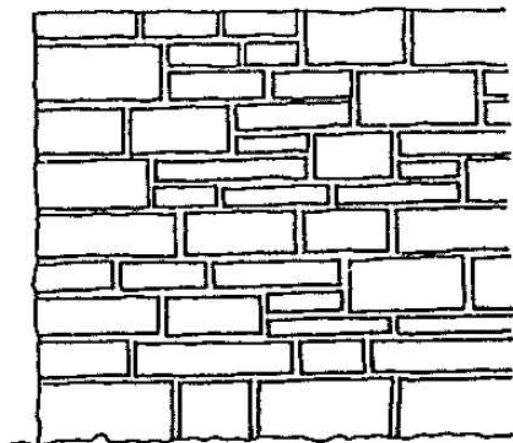
Diese Form des Mauerwerks ist in seiner ganzen Dicke und in Abständen von höchstens 1,50 m rechtwinklig zur Krafrichtung auszugleichen. Die Steine sind regelmäßig, geringfügig bearbeitet und werden in Mörtel vermauert.

#### Hammerechtes Schichtenmauerwerk

Bearbeitete Steine (Werksteine) werden mit Mörtel vermauert. Die Steine der Sichtfläche erhalten auf mindestens 120 mm Tiefe bearbeitete Lager- und Stoßfugen. Die Fugen stehen beinahe rechtwinklig zueinander.



**Abbildung 36:**  
Hammerechtes Schichtenmauerwerk nach [7]



**Abbildung 37:**  
Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk nach [7]

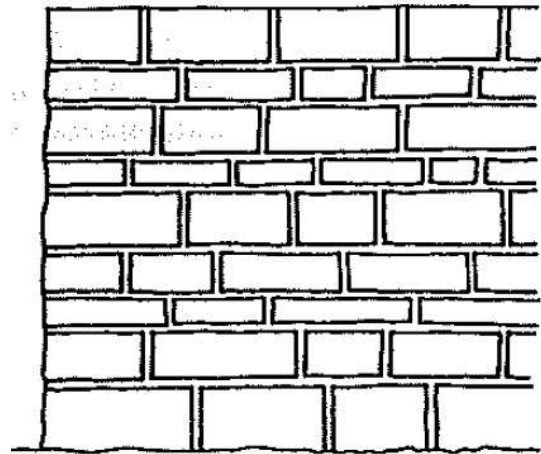
#### Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk

Die Steine der Sichtfläche erhalten auf mindestens 150 mm Tiefe bearbeitete Lager- und Stoßfugen. Die Fugen stehen beinahe rechtwinklig zueinander. Die Fugen dürfen nicht dicker als 30 mm sein. Die Schichthöhe darf wechseln. Jedoch ist das Mauerwerk in Abstand von 1,50 m rechtwinklig zur Krafrichtung auszugleichen.

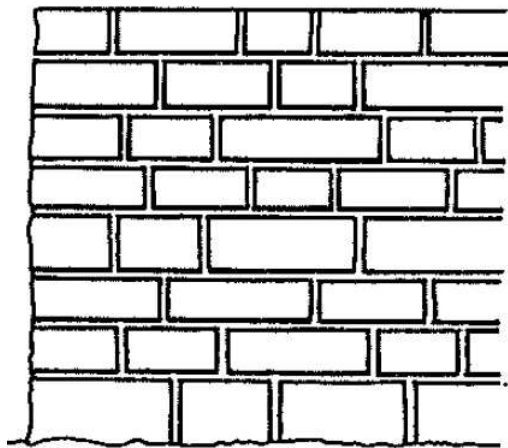


### Regelmäßiges Schichtenmauerwerk

Im Gegensatz zum unregelmäßigen Schichtenmauerwerk darf die Schichtenhöhe hier nicht wechseln. Jede Schicht ist rechtwinklig zur Krafrichtung auszugleichen.



**Abbildung 38:**  
Regelmäßiges Schichtenmauerwerk nach [7]



**Abbildung 39:**  
Quadermauerwerk nach [7]

### Quadermauerwerk

Die Steine sind nach den angegebenen Maßen zu bearbeiten. Lager- und Stoßfugen müssen in der ganzen Tiefe bearbeitet sein.

## 2.7 Absturzsicherung

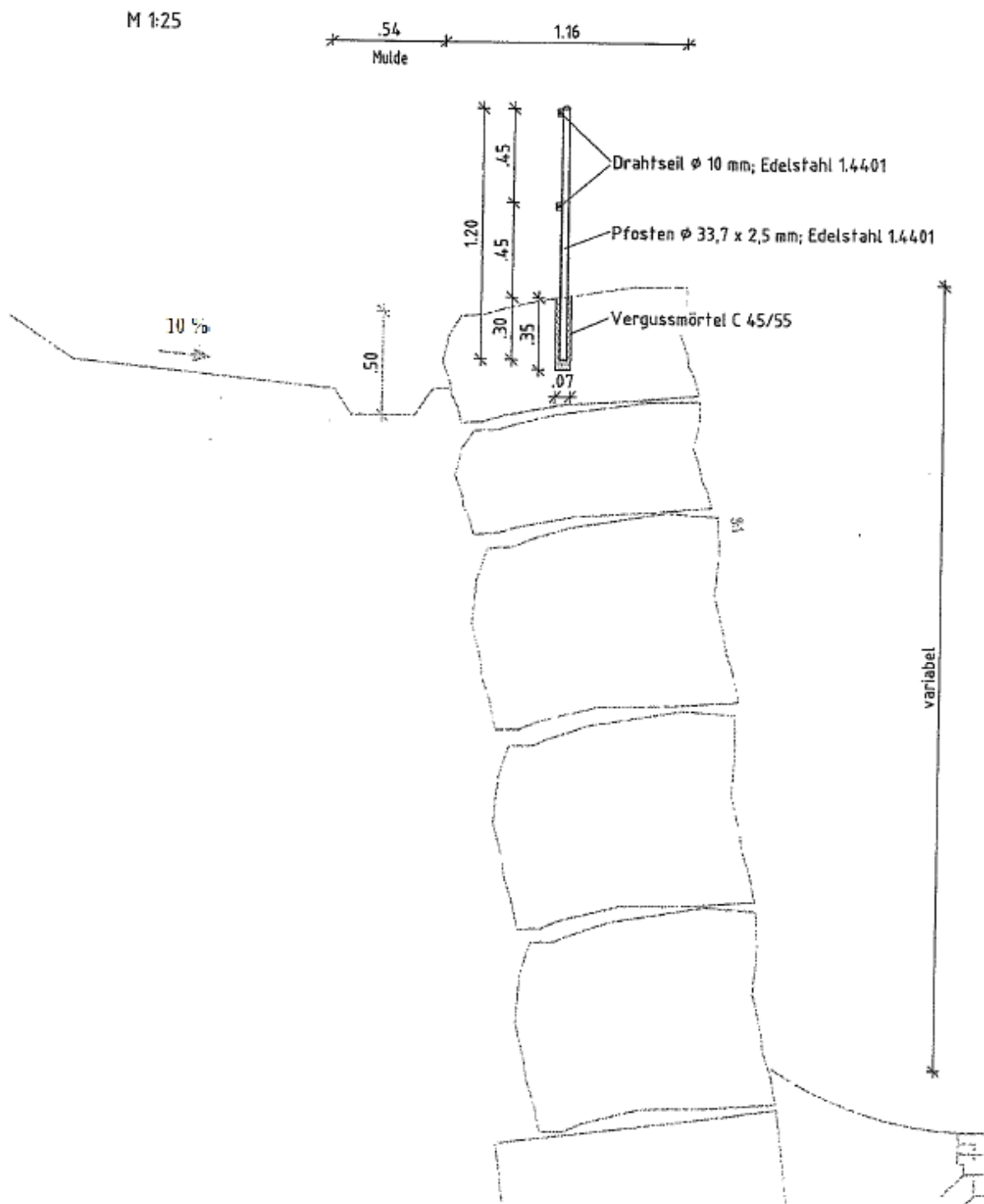
Die Prüfung und Unterhaltung der Mauern und Böschungen erfordern ein geeignetes Sicherungssystem in Bezug auf Wartungsarbeiten sowie Reinigungsarbeiten für das Dienstpersonal. Solche Einrichtungen sind notwendig ab einer Mauerhöhe von 2 m.

Eine Möglichkeit ist das Einrichten einer Absturzsicherung durch einen Mauerüberstand. Der Höhenunterschied zwischen Muldensohle oder Hinterfüllungsoberkante und Oberkannte Kopfstein sollte 90 cm betragen. Ist dies nicht durchführbar, muss ein Geländer errichtet werden. Diese sind so zu konzipieren, dass es den Bewegungen der Wand standhält.

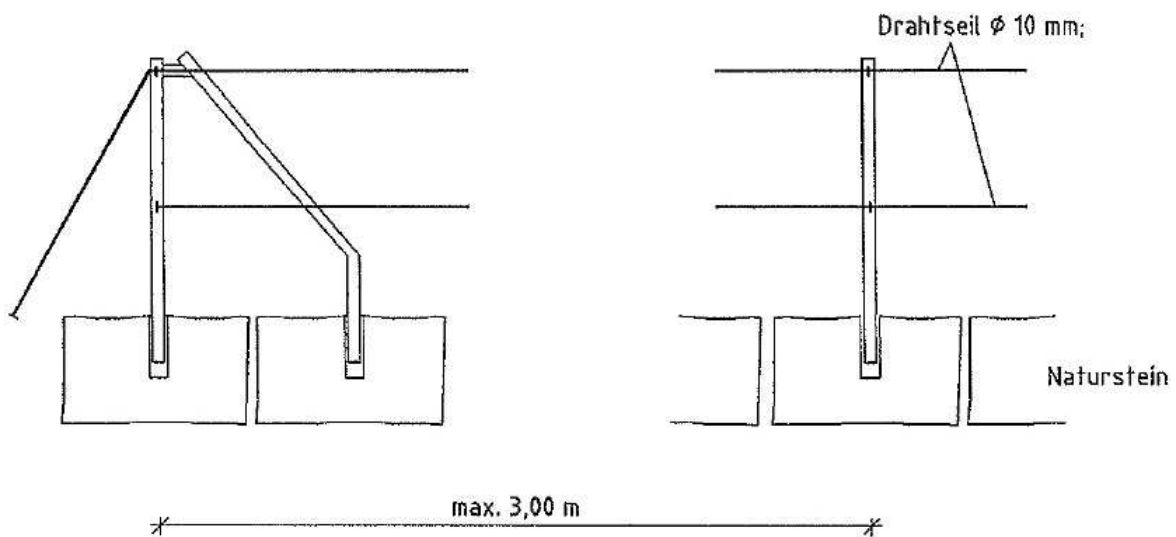
Die Anordnung von steifen Stahlbeton-Gesims Balken mit Holm- bzw. Füllstabgeländern ist zwar möglich, die Verformungen der Mauer erfordern jedoch aufwändige Verankerungen.



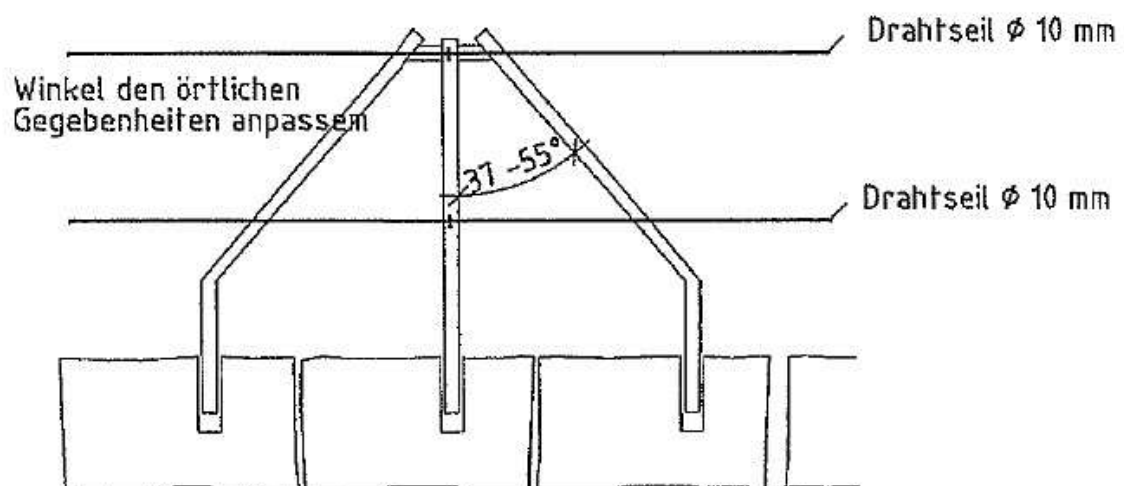
**Abbildung 40:**  
Absturzsicherung



**Abbildung 41:**  
Querschnitt einer Absturzsicherung



**Abbildung 42:**  
Anfangs- bzw. Endpfosten



**Abbildung 43:**  
Windaussteifung

## **2.8 Eignungs- und Fremdüberwachung**

Der Eignungsnachweis und die Fremdüberwachung sind von einer nach RAP Stra – anerkannten Prüfstelle durchzuführen.

Dementsprechend ist ein Fremdüberwachungsvertrag zwischen dem Lieferwerk und der Prüfstelle abzuschließen. Die Fremdüberwachung umfasst alle v.g. Prüfungen einschließlich Probenahme und ist in der Regel alle 2 Jahre durchzuführen.

Bei wesentlichen Veränderungen sind die Prüfzyklen entsprechend zu verkürzen. Während der Bauausführung sind kürzere Prüfzyklen mit dem Auftraggeber abzustimmen und festzulegen. Die Prüfzeugnisse der Fremdüberwachung sind beim Auftraggeber rechtzeitig vorzulegen.

Die Eigenüberwachungen sind während der Bauausführung durchzuführen. Die Häufigkeit der Prüfung richtet sich nach der Häufigkeit der Kontrollprüfungen und sollte parallel zu diesen durchgeführt werden.

Die Prüfungen während der Bauausführung können als Fremdüberwachung gewertet werden. Sie sind dann die Grundlage für die Aufnahme in die veröffentlichte Liste der zugelassenen der zugelassenen Trockenmauergesteine.

## **2.9 Kontrollprüfungen des AG**

### **2.9.1 Allgemeines**

Nach [8] müssen im Allgemeinen folgende Parameter untersucht werden:

- Fugen:   - Veränderungen in der Struktur  
              - Veränderungen bei den Auflagerflächen  
              - Abbröckelungen
- Natursteinblöcke:   - Risse  
                          - Aussinterungen  
                          - Jegliche Veränderungen
- Gesamtes Bauwerk:   - Funktionstüchtigkeit der Entwässerung  
                              - Ausbeulung  
                              - Veränderung der Neigungen  
                              - Hinterspülung  
                              - Unterspülung  
                              - Veränderungen durch Setzungen (Messung durch  
                                  Höhenbolzen)

Der Auftraggeber behält sich vor Kontrollprüfungen an den gelieferten Chargen durch eine RAP Stra – anerkannte Prüfstelle durchführen zu lassen. Die Probenahme für die Kontrollprüfung erfolgt im Auftrag des AG im Beisein des Auftragnehmers durch eine RAP Stra – anerkannte Prüfstelle. Die Auswahl der zu prüfenden Gesteine erfolgt in der Regel nach Augenschein und sollte repräsentativ sein.

Zur Kontrollprüfung und parallelen Eigenüberwachung muss ein Entnahmeplan bzw. Prüf- und Kontrollplan aufgestellt werden, damit die Herkunft und eindeutige Zuordnung sowie die Qualität des angelieferten Natursteins gewährleistet werden kann.

Die Häufigkeit der Kontrollprüfungen ist an die Art der Mauer (Schwergewichtsmauer oder Futtermauer) und gesteinsspezifischen Besonderheiten anzupassen. Festlegungen erfolgen zum Beispiel augenscheinlich durch einen Geotechniker vor Ort.

## 2.9.2 Zusammenstellung der Kontrollprüfungen am angelieferten Naturstein

<b>Prüfungen</b>	<b>Schwer- gewichts- wände</b>	<b>angelehnte Mauern oder Futter- mauern ohne statische Stütz- funktion</b>	<b>Damm- und Hang- sicherung</b>	<b>Gabionen</b>	<b>Block- schicht- ungen</b>
Petrografie + Auswahl	x	x	x	x	x
Rohdichte <i>DIN EN 1097 - 6</i>	x	x	x	x	x
Wasseraufnahme <i>DIN EN 1097 - 6</i>	x	x	x	x	x
Widerstand gegen Frost nach folgenden Normen					
<i>DIN EN 12371</i>	x	x			
<i>DIN EN 1367 - 1</i>	x	x	x	x	x
<i>DIN EN 1367 – 6</i> <i>1%-ige NaCl</i>	x	x	x	x	x
Druckfestigkeit <i>DIN EN 1926</i>	x	x	x	x	x
Biegezug- festigkeit <i>DIN EN 12372</i>	x	x			

**Tabelle 7:**  
Kontrollprüfungen am Naturstein

Zusätzlich sollten im Prüf- und Kontrollplan u.a. folgende Parameter bewertet werden:

Vermessungsprotokoll: → profilgerechte Lage

visuell: → Mauerquerschnitte  
→ fachgerechte Herstellung der Verbände  
→ Einbau Sickerschicht hinter dem Mauerwerk

### **2.9.2.1 Druckfestigkeit**

Es muss nachgewiesen werden, dass der Stein so widerstandsfähig ist, dass er den Einwirkungen von Druckkräften aus dem Eigengewicht standhält. Mit der Druckfestigkeit wird definiert, wie groß die Kraft ist, die ein Stein pro Fläche aufnehmen kann. In der Regel wird mit dem einaxialen Druckversuch die rechnerische charakteristische Druckfestigkeit bestimmt.

Für die Ermittlung der Druckfestigkeit gilt die DIN EN 1926 „Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung der einachsigen Druckfestigkeit“ [17]. Die gesteintechnischen Prüfungen und Anforderungen sind in der Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 (02.01.2007) [11] festgelegt.

### **2.9.2.2 Biegezugfestigkeit**

Bei der Biegezugfestigkeit wird ausgedrückt, wie groß aufnehmbare Spannungen aus Biegung und Zugnormalkräften sein können, die ein Stein im Querschnitt pro Fläche aufnehmen kann.

Für die Ermittlung der Biegezugfestigkeit gilt die DIN EN 12327. Die gesteintechnischen Prüfungen und Anforderungen sind in der Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 (02.01.2007) [11] festgelegt.



### 3. Grundsätze zur Bemessung von Trockenmauern aus Naturstein

#### 3.1 Schwergewichtsmauer

Die Aktionskräfte aus Hinterfüllung, Wasserdruck oder Verkehr bilden eine resultierende Kraft, die innerhalb des Kernquerschnittes (1. Kernweite, Exzentrizität =  $1/6$  der Mauersohlbreite) der Mauerbreite bleiben soll. Für vertikale (lotrechte) Rückwände bedeutet dies, dass die Mauerbreite nach unten zunimmt und die Sichtfläche i.d.R. 5:1 bzw. 3:1 zum Hang geneigt wird. Die Sohlneigung gegen die Horizontale beträgt i.d.R. 1:10 zum Hang fallend. Die Mauerrückfläche soll 10:1 gegen die Hangabtragsfläche geneigt sein. In Abhängigkeit von der Belastung, dem Reibungswinkel des gestützten Bodens sowie der Mauersteindichte sind die Verhältnisswerte von Wanddicke zu Wandhöhe von 0,3 bis 0,7 anzusetzen (Schlankheit). Die Sonderform der freistehenden doppelhäuptigen Trockenmauer, die auf äußere Einwirkungen (Wind, Anprall, u.ä.) zu bemessen ist, ist mit Schlankheiten  $\geq 0,5$  auszuführen.

Für folgende Versagensmechanismen sind statische Nachweise über die innere und äußere Standsicherheit der Schwergewichtsmauern zu führen [4]:

- äußere Standsicherheit:
- Nachweis gegen Gleiten in der Sohlfuge
  - Nachweis gegen Grundbruch
  - Nachweis gegen Geländebruch
  - Nachweis der Exzentrizität der Resultierenden im Bereich der ersten und zweiten Kernweite (Kippen, Randzug, Knickstabilität)
  - Nachweis zul. Verformungen durch Setzungsberechnungen oder Prognosen
- innere Standsicherheit:
- Nachweis gegen Gleiten in der Lagerfuge
  - Nachweis gegen Versagen einzelner Elemente (Steine) aus Druck und Zug
  - Nachweis gegen Kippen in der Lagerfuge

Es ist darauf zu achten, dass für die statischen Berechnungen der Mauer maximal die Hälfte der Rohdichte des zu verwendeten Natursteins anzusetzen ist.

Die Standsicherheit kann durch eine einbindende Rückverankerung (auch bei Futtermauern) mittels Verpressanker oder Geotextilien verbessert werden.

### 3.2 Futtermauer

Diese sogenannten Verkleidungsmauern sollen das Ausbrechen einzelner Steine bzw. Felspartien sowie Teilrutschungen und Unterspülungen aus den Flächen ausreichend standsicherer Böschungen verhindern. Die Sicherung vor Frosteinwirkung ist dabei wesentlichste Schutzfunktion der Futtermauern, deren Mindestdicken i. d. R. im Ingenieurtiefbau mit  $\geq 1,0$  m anzunehmen sind. Man unterscheidet vorgesetzte, angeheftete und verankerte Natursteinfuttermauern. Die Standsicherheitsnachweise sind stets getrennt und unabhängig für die Futtermauer (Kippen, Knicken, Druck), die nur sich selbst tragen muss und die Böschung zu führen. Entlastende Annahmen für die Böschung bleiben unberücksichtigt.

Alle Nachweise für die Futtermauern sollen wie bei Schwergewichtsmauern geführt werden, ohne das neben Eigenlasten, Schneelasten und ggf. Verkehrslasten aus Begehung zu Unterhaltungszwecken äußere Lasten aus Böschungen anzusetzen sind.

### 3.3 Blockschichtung

Blockschichtungen werden als Schwergewichtsmauern nachgewiesen. Dafür spielt das Gewicht der Mauer eine große Rolle für die Stabilität.

Für folgende Versagensmechanismen sind statische Nachweise über die innere und äußere Standsicherheit der Blockenschichtung zu führen:

äußere Standsicherheit:   → Nachweis gegen Gleiten in der Sohlfuge  
                                  → Nachweis gegen Grundbruch  
                                  → Nachweis gegen Geländebruch  
                                  → Außermittigkeit in der Gründungssohle  
                                  → Gleitsicherheit und Außermittigkeit in den Lagerfugen

innere Standsicherheit:   „Die innere Standsicherheit kann wie bei den Betonelementen nachgewiesen werden, wenn ein zum Rechenwert der Betondruckfestigkeit (nach DIN 1045) äquivalenter Wert für die

Blockschichtungselemente ermittelt werden kann.“

(Quelle: Merkblatt über Stützkonstruktionen aus  
Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen)

### 3.4 Gabionen

Die Gabionenmauern werden wie Schwergewichtsmauern nachgewiesen. Daher spielt das Gewicht der Mauer eine große Rolle für die Stabilität.

Für folgende Versagensmechanismen sind statische Nachweise über die innere und äußere Standsicherheit der Gabionenmauer zu führen:

- äußere Standsicherheit:   → Nachweis gegen Gleiten in der Sohlfuge
- Nachweis gegen Grundbruch
- Nachweis gegen Geländebruch
- Außermittigkeit in der Gründungssohle
- Gleitsicherheit und Außermittigkeit in den Lagerfugen
  
- innere Standsicherheit:   → Nachweis gegen Gleiten in der Lagerfuge
- Nachweis gegen Versagen einzelner Elemente (Steine) aus  
Druck und Zug
- Nachweis gegen Kippen in der Lagerfuge

Die Höhe einer Gabione sollte auf  $\leq 2,0$  m begrenzt werden.

#### 4. Spezifische Grundsätze zur Ausbildung von Trockenmauern aus Naturstein

Es wird bei der Ausführung der Böschung, des Verbandes, der Gründung, des Untergrundes, der Hinterfüllung und der Entwässerung auf die **Punkte 2.4 – Hinterfüllung** und **2.5 - Entwässerung** verwiesen. Ebenso sind die Anforderungen an den Naturstein im **Punkt 2.1 – Gestein** geregelt.

Bei der Herstellung von Trockenmauern ist unbedingt darauf zu achten, dass das Verlegen der Natursteine nach der Schichtung zu erfolgen hat und nicht senkrecht zur Schichtung.

##### 4.1 Schwergewichtsmauer

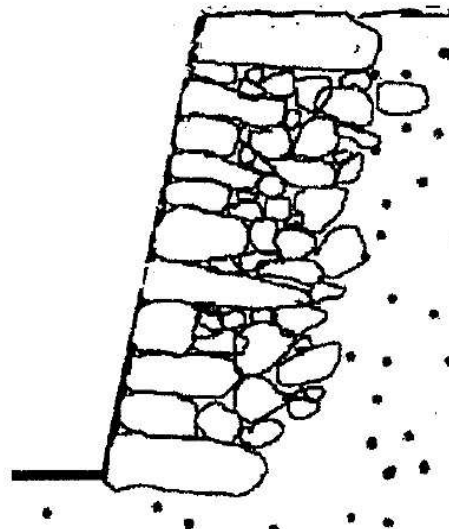
Nach [2] unterscheidet man beim Bau einer Schwergewichtsmauer aus Naturstein zwischen der einschaligen und massiven Bauweise.

###### Einschalige Bauweise

Bei dieser Bauweise besteht die Mauer aus einer äußeren Mauerschale, die aus großen Mauersteinen besteht. Der Bereich zwischen Erdreich und Mauer wird mit kleineren, meist unförmigen Steinen hintermauert.

Diese Bauweise kann angewandt werden, wenn die Mauer nicht höher als 2 m gebaut werden soll und nur geringe Belastungen aushalten muss.

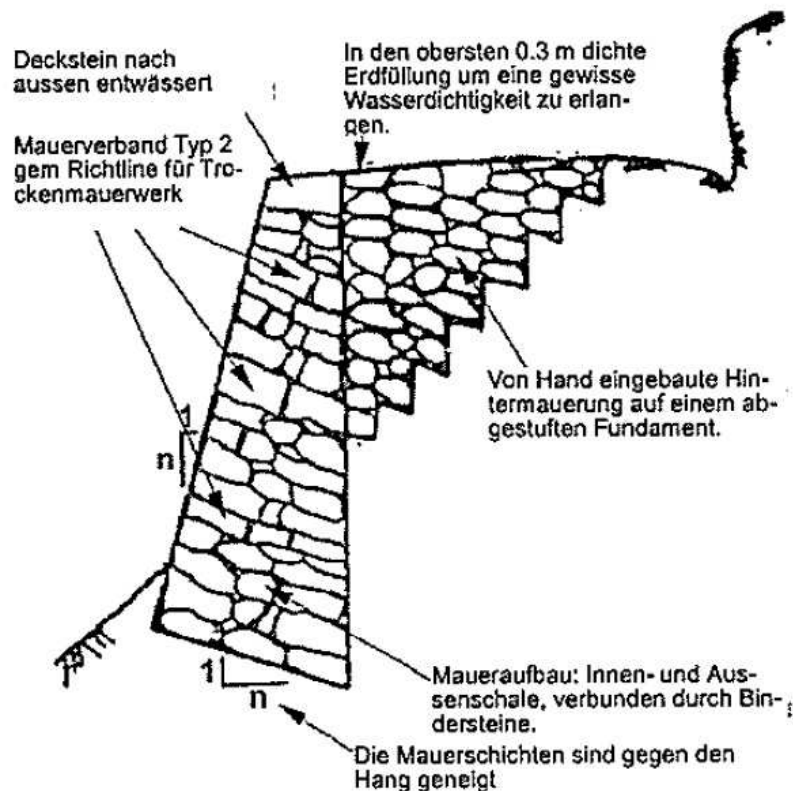
Diese Form ist statisch nicht berechenbar.



**Abbildung 44:**  
Einschalige Stützmauer aus Naturstein nach [2]

### Massive Bauweise

Nach [2] ist das Gegenteil zur einschaligen Bauweise die massive Bauweise. Diese Form kann statisch berechnet werden. Der Erddruck und die Auflast werden bei der Berechnung der Eigenlast und der geometrischen Ausbildung der Mauer (z.B.: Neigung Fundament) gegenübergestellt. Man setzt für diese Berechnung einen trapezförmigen Querschnitt an, der am Fußpunkt breiter ist als am Mauerkopf.



**Abbildung 45:**  
Massive Stützmauer aus Naturstein nach [2]

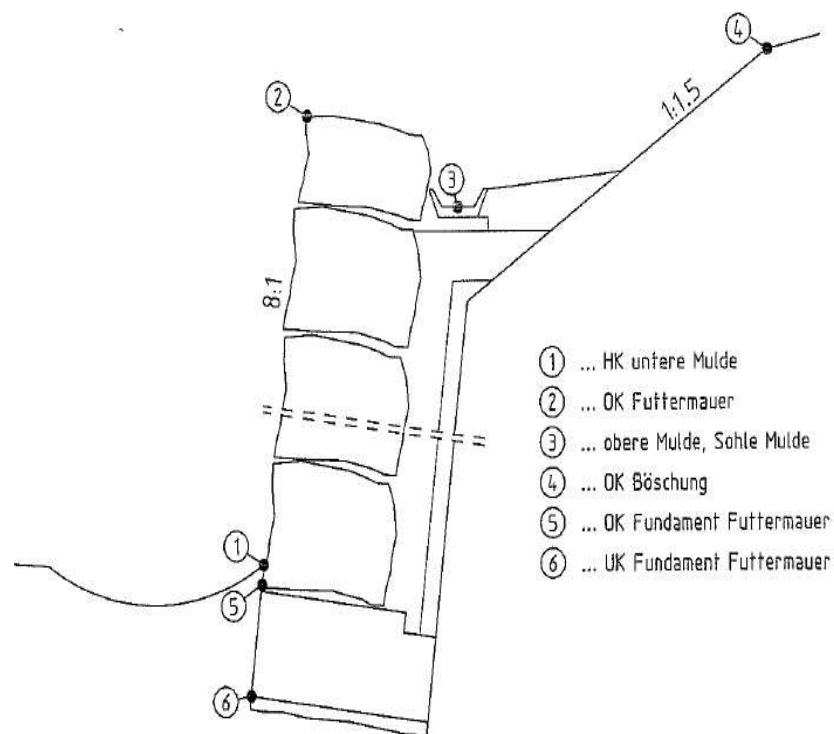
Für den Aufbau einer Stützmauer ist es wichtig, dass sich Binder- und Läuferschichten abwechseln. In den übereinanderliegenden Schichten ist darauf zu achten, dass die Binder die Läufer überdecken und umgekehrt. Des Weiteren wird nach [2] zwischen der Schwergewichtsmauer und dem anstehenden Erdreich ein Gesteinskörnungsgemisch gemäß **Punkt 2.4 - Hinterfüllung** eingebaut. Es soll eine dicke Packung entstehen. Anforderungen an die Form und Größe der Steine werden nicht gestellt. Die Steinpackung kann als Dränageschicht ausgebildet werden.

Des Weiteren darf bei der Ausführung von Schwergewichtsmauern aus Naturstein die Kronenbreite von 50 cm nicht unterschritten werden.

## 4.2 Futtermauer

Die Mauern müssen mit den geforderten Steingrößen ohne Verminderung der Mauerdicke errichtet werden. Sie werden im unmittelbaren Fahrbahnbereich mit einer Neigung von ca. 8:1 ausgeführt. Die Natursteinblöcke müssen im Verband verlegt werden. Die Lastverteilung der Steine untereinander hat möglichst flächig zu erfolgen. Punktuelle Auflagerungen sind zu vermeiden. Das Verhältnis der Steinauflagerfläche zur Steinmauerfläche ist mit  $\geq 0,5$  einzuhalten. Bei Bedarf ist eine Mörtelschicht geringer Dicke vorzusehen. Um Lagersicherheit der einzelnen Steinreihen zu gewährleisten, sind die Lagerfugen stets mit einer Neigung zum gewachsenen Fels hin auszubilden. Die Steine sind demnach so vorzubereiten, dass annähernd ein rechter Winkel zwischen Oberseite und Ansichtsflächen sowie zwischen Unterseite und Ansichtsflächen entsteht.

Aus Sicherheitsgründen sind die oberen zwei Steinreihen gegen Herabfallen zu sichern. Dies kann durch eine vollflächige Verlegung im Mörtelbett erfolgen.

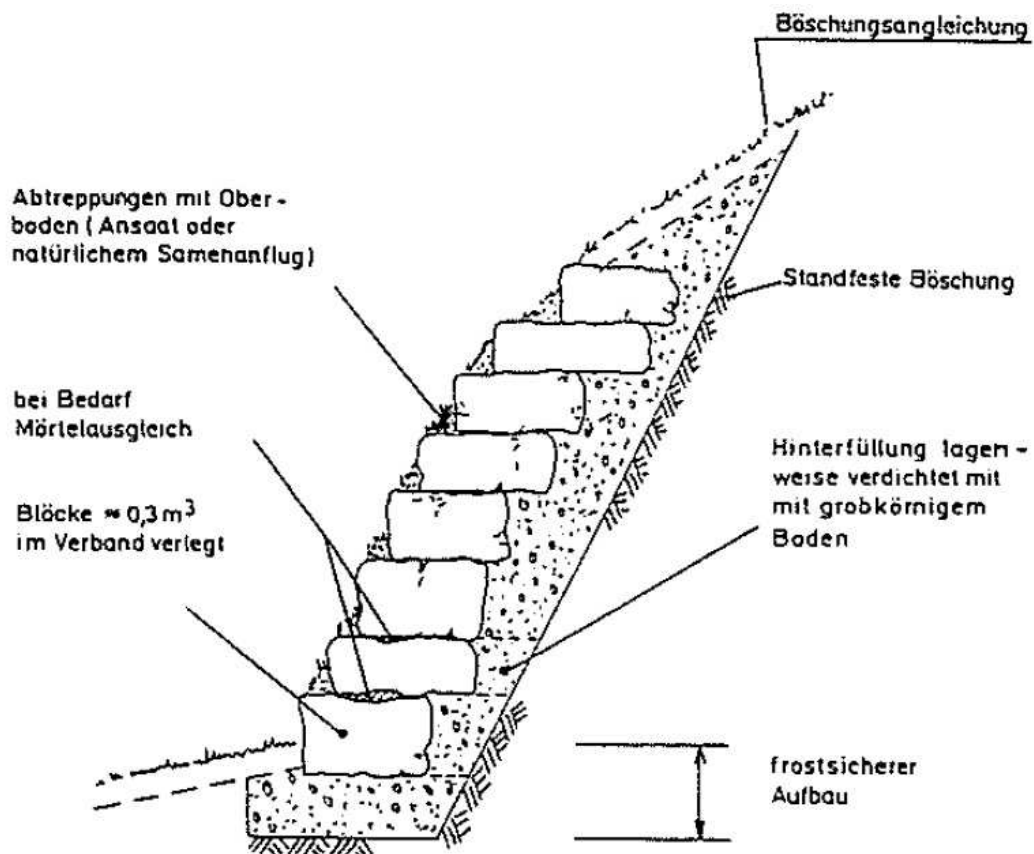


**Abbildung 46:**  
Aufbau einer Futtermauer

Des Weiteren sollte das Verhältnis Länge zu Höhe zwischen 1:1 und 1:5 liegen. Die Schichthöhen können wechseln, sollten aber zur Mauerkrone hin abnehmen. Die Gesamthöhe von Futtermauern sollte auf 8 m begrenzt bleiben.

#### 4.3 Blockschichtung

Diese Art besteht aus Gesteinsblöcken, die mindestens ein Volumen von  $0,3 \text{ m}^3$  haben. Des Weiteren sollten sie eine Form von einem Quader besitzen. Die Höhe der Blöcke sollte  $\frac{2}{3}$  der größeren Kantenlänge nicht überschreiten und  $\frac{1}{5}$  nicht unterschreiten. Die sichtbare Steinlänge muss mindestens 80 cm betragen. Wenn die Mauer eine Höhe von 3 m überschreiten sollte, ist eine statische Berechnung zum Nachweis der Standsicherheit erforderlich.



**Abbildung 47:**  
Aufbau Blockschichtung nach [16]

Die Blocksteinmauer wird ohne Anwendung von Mörtel für die vorhandenen Fugen erstellt. Die Dicke der Blockschichtung muss mindestens 30 cm betragen.

Die angewendeten Blöcke werden im Verband verlegt und in der Neigung der anstehenden Böschung schichtweise aufgebaut. Sie sind dabei stabil (wackelfrei) aufeinander zu verlegen. Die größte Quaderfläche ist als Lagerfläche zu verwenden. Sie muss eben sein. Ein Ausgleich durch Mörtel sollte die Ausnahme sein. Die größten Blöcke werden in den unteren Schichten eingebaut. Jede Schicht sollte dabei ungefähr die gleiche Höhe besitzen. In Querrichtung sind die Steine horizontal zu versetzen oder leicht in Richtung Hinterfüllung zu neigen. Stoßfugen sind während des Baus zu bepflanzen oder zu begrünen.

Blockschichtungen sind ähnlich aufgebaut wie Schwergewichtsmauern. Sie unterscheiden sich in der Hinsicht von den Schwergewichtsmauern, dass nur eine Gesteinsart angewendet wird, die über die gesamte Mauer ausgebildet ist.

#### Vorteile

- schnelle Erstellung durch den Einsatz von Maschinen
- geringes Risiko vor Rutschungen, Gesteinssetzungen und – Verschiebungen
- bessere Gesteinsqualität, da keine Abfallsteine verwendet werden



#### 4.4 Gabionen

Nach [6] und [22] werden zur Befüllung von den Gabionen Festgestein (Schotter 32 bis 63 mm) oder Lockergestein (Grobkies 32 bis 63 mm) empfohlen. Im Bereich der Sichtflächen ist die Verwendung von Bruchsteinen (63 bis 250 mm) in Trockenmauerart möglich. Es können auch andere Gesteinsgrößen bei Erfahrung eingesetzt werden. Die Kantenlänge bzw. der Durchmesser der zu verwendeten Körnungen müssen größer sein als die Maschenweite des Gittergeflechts.

Drahtkörper können teilweise oder vollständig gefüllt werden.

Die Gesteinskörnungen dürfen keine Bestandteile enthalten, die für die Verwitterungsbeständig schädlich sind. Damit sind Bestandteile gemeint, die quellen, zerfallen, sich lösen oder chemisch umsetzen können. Mergelige und tonige Körner, bestimmte Ton- und Glimmermineralien, Pyrit, Markasit, Gips, Calcium- und Magnesiumoxid sind Beispiele für schädliche Bestandteile. Die Korngruppen / Lieferkörnungen dürfen keine groben Stoffe organischen Ursprungs enthalten in einer Konzentration, die schädlich für das Material sind.

Das Verfüllen des Porenraums mit Oberboden oder Substrat ist möglich, dadurch sind die Gabionen besser begrünbar.

Das Verfüllmaterial ist so zu wählen, dass es den Beanspruchungen standhält.

##### Beispielhafte Anwendung der Füllelemente nach [20]



**Abbildung 48:**  
Schotter,  
geschüttet



**Abbildung 49:**  
Bruchstein,  
geschichtet



**Abbildung 50:**  
Zyklopensteine

### stoffliche Kennzeichnung

Folgende Merkmale der Füllmaterialien sind zu bestimmen.

- stoffliche Eigenschaften: Die Rohdichte ist nach DIN EN 1097-6 Anhang A [7] zu bestimmen und anzugeben.
- granulometrische Eigenschaften: Die Abmessungen des Füllmaterials sind anzugeben. Die Korngruppen / Lieferkörnungen sind so wählen, dass sie der entsprechenden Anwendung genügen.

### Überkorn und Unterkorn

Der Über- und Unterkornanteil muss durch Siebung nach DIN EN 933-1 [8] bestimmt werden.

Richtwerte:

Überkorn		Unterkorn	
1,4D <sup>*)</sup>	D	d	d/2 <sup>*)</sup>
M.-%			
0	1 – 20	0 – 20	0 – 5
D = obere Siebkorngröße		d = untere Siebkorngröße	
*) Wenn die aus 1,4D und d/2 errechneten Siebe nicht genau mit der ISO 565: 1990, R20-Reihe übereinstimmen, muss stattdessen die nächstgrößere bzw. nächstkleinere Sieböffnungsweite verwendet werden.			

**Tabelle 8:**  
Anforderungen an Überkorn / Unterkorn

### Gehalt an Feinanteilen

Der Gehalt ( $\leq 0,063$  mm) wird nach DIN EN 933-1 bestimmt. Er darf maximal 4 M.-% betragen.

### Kornform

Schlecht geformte Körner dürfen einen Anteil von 50 M.-% im Gefüge nicht überschreiten. ( $L:D > 3:1$ )

→ mechanische  
Beanspruchung:

### Widerstand gegen Zertrümmerung

Wenn Grobkies oder Schotter zu Anwendung kommen, muss die Festigkeit durch den Widerstand gegen Zertrümmerung an der Kornklasse 35,5/45 mm nach DIN 52115-2 (Schlagversuch) [9] ermittelt werden. Der gesteinsabhängige Schotterschlagwert (Mittelwert) muss dem in den TL Gestein-StB, Anhang A angegebenen Mittelwert entsprechen.

### Druckfestigkeit

Wenn Steine als Füllmaterial angewendet werden und keine Kornklasse 35,5/45 mm vorliegt, dann muss die Druckfestigkeit nach DIN EN 1926 [10] ermittelt werden.

Dabei werden 10 Bohrkern mit dem Durchmesser von mindestens 50 mm und einem Verhältnis von Durchmesser zu Höhe von 1:1 untersucht. Die mittlere Druckfestigkeit muss dem angegebenen Mittelwert entsprechen.

Die gesteinstechnischen Prüfungen und Anforderungen sind in der Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 (02.01.2007) [5] festgelegt.

→ Widerstand  
gegen Verwitterung

### Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme wird bei mineralischem Füllmaterial nicht bestimmt.

### Widerstand gegen Frost-Tauwechsel

Grobkies und Schotter:

Es gilt die DIN EN 1367-1 [11]. Es wird der Widerstand gegen Frost

mit Wasser geprüft. Der Masseverlust darf 4 M.-% nicht überschreiten (Mittelwert Siebdurchgänge durch Sieb 16 mm).

Steine:

Es gilt die DIN EN 1367-1 [11]. Es wird der Widerstand gegen Frost mit Wasser geprüft. Der Masseverlust darf 4 M.-% nicht überschreiten. In dem Versuch werden 10 Bohrkerne mit dem Durchmesser von mindestens 50 mm und einem Verhältnis von Durchmesser zu Höhe von 1:1 untersucht.

#### Widerstand gegen Frost-Tausalz-Beanspruchung

Diese Art der Beanspruchung ist dann zu prüfen wenn es für die jeweilige Anwendung notwendig ist.

Grobkies und Schotter:

Es gilt die DIN EN 1367-6 [12]. Mit Hilfe einer 1%igem NaCl-Lösung wird der Widerstand ermittelt. Dabei wird der Versuch an der Kornklasse 8/16 mm durchgeführt. Der Masseverlust darf 8 M.-% nicht überschreiten.

Steine:

Es gilt die DIN EN 1367-6 [12]. Mit Hilfe einer 1%igem NaCl-Lösung wird der Widerstand ermittelt an 10 Probekörpern (10 Bohrkerne mit dem Durchmesser von mindestens 50 mm und einem Verhältnis von Durchmesser zu Höhe von 1:1). Aus den Masseverlusten der Probekörper ist ein Mittelwert zu bilden. Der Mittelwert darf 8 M.-% nicht überschreiten.

→ Steingröße:

Die kleinste Abmessung bzw. Korngröße des Füllmaterials sollte mindestens so groß sein wie das 1,5-fache der größten Maschenweite/Drahtabstand.

→ Füllart:

Folgende Füllarten für Gabionen sind möglich:

→ geschüttet und verdichtet (Schotter, Grobkies)

- geschichtet (regellos) (Wasserbausteine, zyklopenförmige Steine)
- geschichtet (im Verband) (quaderförmige Steine mit orthogonalen Bruchflächen, Werksteine)
- geschichtet und geschüttet (Sicht (Vorderseite) wird regellos bzw. im Verband geschichtet, Hinterfüllraum wird geschüttet und verdichtet)

### Bauweise



**Abbildung 51:**  
Gabionen

Gabionen können auch Drahtschotterbehälter/Steinkörbe genannt werden. Es sind prismatische Elemente, die in verschiedenen Abmessungen geliefert werden können. Verzinktes Spezial-Maschendrahtgeflecht ist der Hauptbestandteil. Bei der Montage werden die gelieferten Gabionen an jeder sich berührenden Kante mit speziellem Bindedraht zum Verband zusammengedrahtet.

Sie können als Schwergewichts-, als Fuß- oder Futtermauer nach dem „Merkblatt für einfache landschaftsgerechte Sicherungsbauweisen“ ausgeführt werden. Sie eignen sich als Hangterrassierungen und damit zur Sicherung der Standfestigkeit hoher Damm- bzw. Einschnittsböschungen.

### Vorteile

- gute Wasserdurchlässigkeit

Dem hydrostatischen Überdruck an Böschungen wird häufig vorgebeugt bzw. deutlich reduziert. Drainagearbeiten können dabei entfallen.

- Schutz vor klimatischen Einflüssen

Im Sommer können kühlere Temperaturen gewährleistet werden und im Winter wird eine Isolation der Raumtemperatur d.h. wärmere Temperaturen erzielt.

- Schutz vor Einflüssen aus der Umwelt (z.B. Regen)
- verschiedene Arten der Begrünung möglich
- guter Lärmschutz
- guter Sichtschutz
- umweltfreundlich
- Schaffung Lebensraum für Tiere
- Beständigkeit gegen Vandalismus (u.a. Graffiti, Umkippen)
- schnelle Erstellung im Gegensatz zu klassischen Trockenmauern (maschinelle Befüllung bzw. fertige verfüllte Lieferung ab Werk)

### Drahgitterkörbe

Folgende Anforderungen zur Verwendung von Netzen für eine Gabione müssen erfüllt sein:

- Maschenweite  $\leq 10 \times 10$  cm
- Durchmesser Stahldraht  $\geq 4,5$  mm,  $\leq 6,0$  mm
- Stahldraht ist spezialverzinkt (z.B. Galfan-Draht).
- Verbindungselemente müssen gleiches Material haben wie Stahldraht
- kubische Behälter mindestens 50x50x50 cm groß
- größere Körbe müssen Trennwände in 1 m Abstand haben

Je nach statischer Beanspruchung sind Drähte und Stäbe so zu wählen, dass sie der Beanspruchung standhalten.



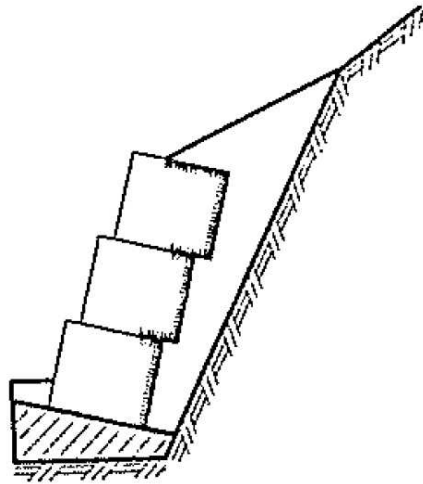
**Abbildung 52:**  
geschüttete Drahtkörper nach [20]

### Geotextile Filter bei Gabionen

Die Filterstabilität für den Einsatz von geotextilen Filtern spielt eine große Rolle. Sind der Verfüllboden, die Überschüttung und der Hinterfüllboden sowie der anstehende Boden gegeneinander nicht filterstabil, dann ist mit dem Anfall von Wasser zu rechnen. Entlang der Kontaktzone mit den kritischen Bodenarten wird der geotextile Filter eingebaut.

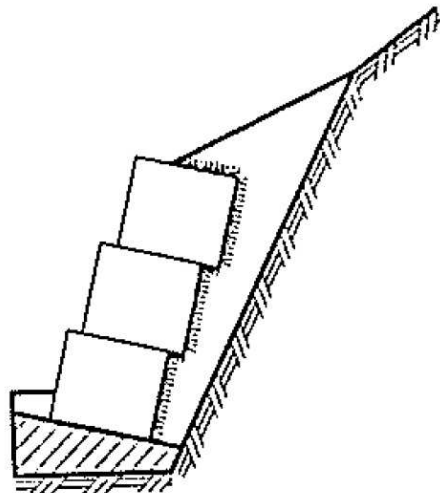
Die Filter können auf die nachfolgende Weise eingebaut werden:

Möglichkeit 1: vor der Verfüllung in die Gabione eingelegt



**Abbildung 53:**  
Vlies im Korb

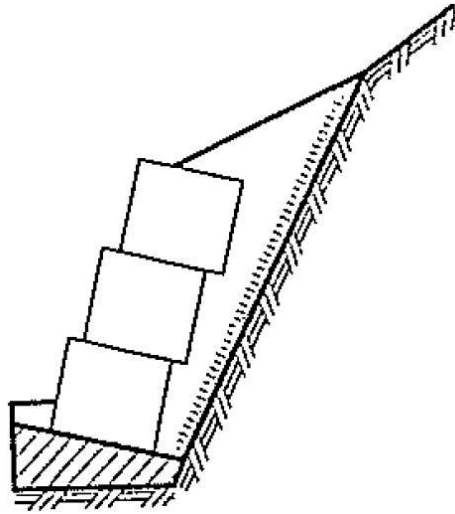
Möglichkeit 2: nach der Verfüllung außen an der Rückseite des Gesamtbauwerks



**Abbildung 54:**  
Vlies hinter dem Korb



Möglichkeit 3: auf Baugrubenböschung befestigt (mit dem Hinterfüllboden beschüttet)



**Abbildung 55:**  
Vlies auf der Böschung



## **5. Unterhaltung und Dokumentation**

### **5.1 Nachbehandlung, Wartung und Unterhaltung**

#### **5.1.1 Nachbehandlung**

Eine Trockenmauer ist nach ihrer Fertigstellung nachbehandlungsfrei. Es ist aber ratsam bei leicht zugänglichen Stellen die Mauer mit einem für Naturstein von der BASt. zugelassenen semipermanenten Graffiti prophylaxemittel zu behandeln. So kann einem Permanentschaden durch Vandalismus vorgebeugt werden.

Die mit Graffiti prophylaxe versehenen Flächen sollten das optische Erscheinungsbild des Mauersteines nicht beeinflussen, sowie die für den Baustoff typischen, strukturellen Eigenschaften nicht verändern.

Die zu behandelnde Fläche muss so beschaffen sein, dass das Anti-Graffiti-System einen festen und dauerhaften Verbund mit dem Naturstein eingeht. Sind die Voraussetzungen nicht gegeben, so muss die Oberfläche entsprechend vorbehandelt werden.

#### **5.1.2 Wartung und Unterhaltung**

Der Begriff Unterhaltung wird im Bau als Aufrechterhaltung der Nutzbarkeit definiert. Dies umfasst zum Einen eine regelmäßige Wartung und die Reparatur bis hin zum Austausch einzelner Abschnitte, zum Anderen fällt auch die Reinigung unter die Unterhaltung.

##### Reinigung

Es muss eine einwandfrei funktionierende Entwässerung garantiert werden. Aus diesem Grund werden in den erforderlichen Abständen die Entwässerungseinrichtungen gespült und gesäubert. Wurden Sandfänge eingesetzt so müssen auch diese gereinigt bzw. entleert werden.

##### Wartung

Eine regelmäßige Kontrolle der Zwickelsteine ist sehr wichtig, da sich diese im Laufe der Zeit lockern, lösen oder sogar herausfallen können. Zum Einen kann das ein Heraustreten der Hinterfüllung hervorrufen und zum Anderen kann die Verkehrssicherheit beeinträchtigt werden. Zwickelsteine, die gelockert sind oder lose aus dem Gefüge heraustreten, werden vermörtelt und oberflächenbündig eingesetzt.

## **5.2 Bestandsaufnahme und Dokumentation**

### **5.2.1 Allgemeines**

Die Bestandsaufnahme und die Dokumentation sind zwei der wichtigen Punkte, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Dazu gehören die Überprüfung der vertragsgerechten Bauausführung, das Aufdecken verdeckter Ausführungsmängel und die damit verbundenen Bewertungen möglicher Risiken für die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und die Dauerhaftigkeit. Des Weiteren wird diese Bestandsaufnahme und Dokumentation als Grundlage haushalts-, bau- und verkehrstechnischer Entscheidungen in den Straßenbauverwaltungen des Bundes und der Länder Informationen zum Bestand und zum Zustand der Ingenieurbauwerke benötigt.

### **5.2.2 Fotodokumentation**

Die Fotodokumentation sollte eine umfassende Information der wichtigsten Bauzustände wiedergeben. Es sollten auch wesentliche Konstruktionsteile dargestellt werden, die nach Fertigstellung des Bauwerkes nicht mehr ersichtlich sind. Die fertig gestellte Mauer sollte mit ihren wichtigsten Merkmalen dargestellt werden.

Folgende Merkmale sollten dokumentiert werden:

- Zustand der Felsböschung wie z.B. Felsausbrüche, Spalten und Klüfte
- Zustand der Baugrube
- Art der Gründung
- Ausführung der Entwässerung z.B. Dränageleitung, Rinne / Mulde, Sandfang
- Hinterfüllung mit Angabe zu Dicke in regelmäßigen Abständen nach oben
- verwendete Materialien z.B. Lagerung auf der Baustelle, Einbau
- Schäden bzw. Probleme während des Bauablaufs

Die Fotos müssen mit Datum und Kilometrierung dargestellt werden. Wird die Hinterfüllung aufgenommen, so muss die Höhe in Bezug auf die Gründungsoberkante angegeben werden.

### **5.2.3 Mechanisches Verfahren**

Zur Beurteilung des Ist-Zustand eines Bauwerks insbesondere im Hinblick auf seine Zusammensetzung sind Bauwerksuntersuchungen notwendig. Ein hiermit beauftragter Gutachter muss ein Prüfkonzept erarbeiten, das in den meisten Fällen eine Entnahme eines Bohrkernes beinhaltet in Ausnahmefällen sogar einen Rückbau der Mauer.

Bei der Bohrkernentnahme hat der Gutachter zu entscheiden an welcher Stelle er die Probe entnimmt, in welcher Länge und die Anzahl der Bohrungen. Die Bohrkernentnahme soll die Eigenschaften der Mauer nicht beeinflussen. Die Entnahmestellen sind den gegebenen Örtlichkeiten anzupassen was heißt, es sollten nur Steine gewählt werden, die dem Bohrkerndurchmesser entsprechend gewisse Mindestabmaße erfüllen. Bohrlöcher sollten sofort nach dem Bohren wieder verschlossen werden. Dies soll ein Herausrieseln der Hinterfüllung verhindern.

Ein Rückbau der Mauer ist mit einem großen Aufwand verbunden und sollte deswegen nur in Ausnahmefällen und bei Schadenseinflüssen so weit wie möglich vermieden werden. Es müssen die Geräte wie Bagger und ggf. Kräne zur Verfügung gestellt werden. Ein damit verbundenes Absperren der Baustelle garantiert die Einschränkung des laufenden Straßenverkehrs und birgt ein Risiko für Arbeitskräfte und Fahrzeuginsassen.

### **5.2.4 Geophysikalisches Verfahren**

Zur Erkundung der Mauer kann eine Georadarmessung durchgeführt werden. Dieses Verfahren ist ein elektromagnetisches Reflexionsverfahren. Von einer Antenne werden sehr kurze Impulse aus Radarwellen in die Wand abgegeben. An Objekten oder Schichtgrenzen werden diese reflektiert und laufen an die Oberfläche zurück. Dort werden die Signale in Abhängigkeit von der Laufzeit registriert, digitalisiert und aufgezeichnet. Viele zusammengesetzte Laufzeit Spuren ergeben bei Bewegung der Antennen ein Radargramm. Darin werden die von Objekten oder Schichtgrenzen stammende Reflektionen sichtbar. Anhand der Laufzeit lassen sich Reflexionstiefen bestimmen. Die Eindringtiefe und die Auflösung sind abhängig von Untergrundmaterial und Antennentyp. Die Auswertung bildet zuverlässig die Steinabmessung, die Hinterfüllungsdicke sowie die Grenzbereichen zwischen Spritzbeton und natürlicher Fels- bzw. Erdböschung ab.

### **5.2.5 Optisches Verfahren**

Die Scannvermessung ist ein ähnlicher Aufnahmevergong wie im Tunnelbau. Hier wird ein visuelles und geometrisches Abbild der aufgenommenen Oberfläche bestimmt. Bei dem Tunnel-scann-Verfahren werden verschiedene Konstruktionsphasen aufgenommen wie zum Beispiel der Ausbruch oder nach dem Anbringen der Spritzbetonschale. Es ermöglicht eine geologische Dokumentation, Profilkontrollen und die Dicke der eingebauten Schichtdicken.

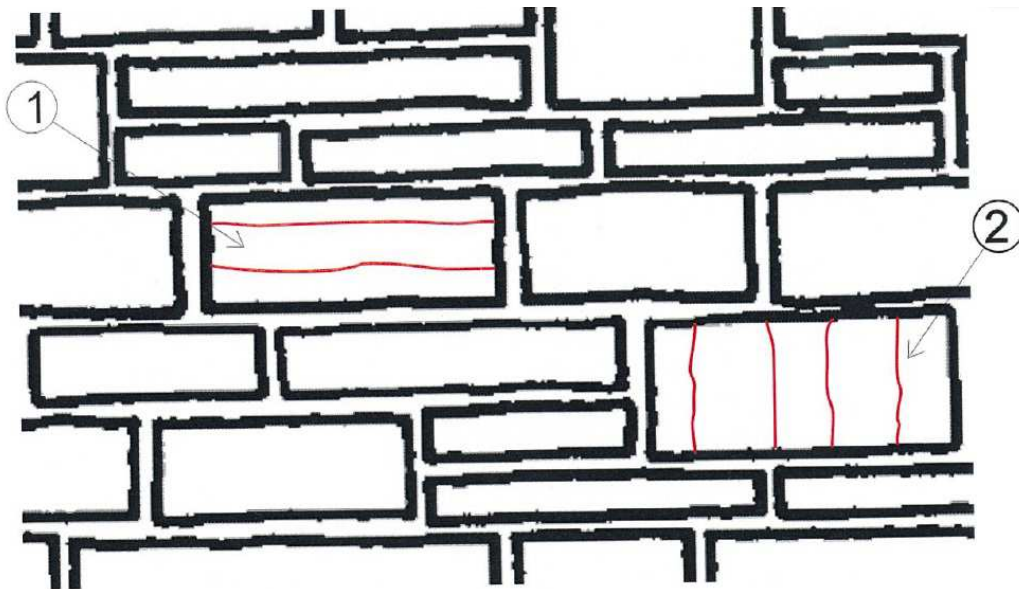
Für die Bestandaufnahme wäre es möglich z.B. Risse, Veränderungen der Fugen und Abplatzungen an Steinen zu lokalisieren.

Wiederholungsmessungen mit neuen technischen Trägern (Drohnen) gestalten eine Auswertung mit Dokumentation der Veränderungen zur vorhergehenden Messung. Photogrammetrische Verfahren mit GPS-referenzierten Koordinatenbezug ermöglichen die Reproduzierbarkeit der Aufnahme und eine 1:1 Überdeckung der Aufnahmen.

## 6. Mängel und Schäden

### 6.1 Risse

Risse können in einer Natursteinwand nie vollständig vermieden werden. Man kann sie reduzieren indem man bestimmte Regeln einhält. Es gibt verschiedene Arten von Rissen.



**Abbildung 56:**  
Rissbild nach [8]

1. Horizontal und parallel zur Wandflucht verlaufende Risse, die durch unregelmäßige Schichtung im Gestein entstehen können. Aus diesem Grund sollten im Vorfeld Steine mit einem sehr deutlichen bzw. übermäßigen Schichtenverlauf mit ausgeprägten Trennrissen aussortiert werden.
2. Senkrecht und rechtwinklig zur Wandflucht verlaufende Risse, die zum Beispiel durch Punktlasten oder durch eine ungünstige Lastenverteilung entstehen können. Ein solches Rissbild kann auch entstehen, wenn der Stein senkrecht zu seiner natürlichen Schichtung oder unzureichend gebettet verlegt wird.
3. Senkrecht und parallel zur Wandflucht verlaufende Risse können aus demselben Grund wie in Punkt 2 erklärte rechtwinklig zur Wandfuge verlaufende Risse entstehen. Allerdings sind diese gefährlicher einzuschätzen, da sie von außen nicht zu erkennen sind.



**Abbildung 57:**  
Rissbild

Sehr viele Risse entstehen durch den Transport und einer schlechten Lagerung, sie sind meistens nicht auf den ersten Blick zu erkennen. Ein sehr großes Problem sind gestörte Steine, da man auch diese nicht sofort erkennen kann, sondern der Schaden entsteht erst, wenn sich der Stein entspannt hat. In einem solchen Fall können alle drei Rissbilder entstehen.



**Abbildung 58:**  
Rissbild





**Abbildung 59:**  
Rissbild



**Abbildung 60:**  
Rissbild



## 6.2 Hinterfüllung

Das Ausrollen der Hinterfüllung kann die Auswirkung von schlecht ausgeführten Fugen sein. In einem solchen Fall entstehen Löcher in der Wand mit einem solchen Ausmaß, dass die Hinterfüllung sich nicht verkeilen kann, sondern nach vorne durch die Wand austritt.

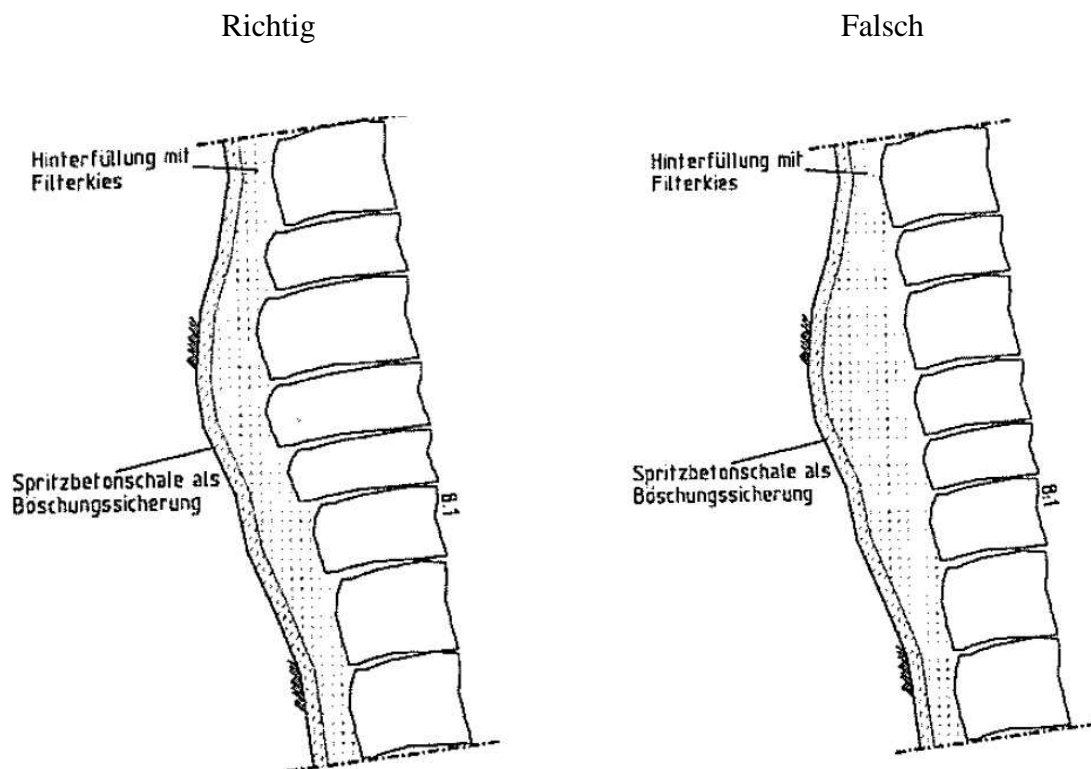


**Abbildung 61:**  
Heraustretende Hinterfüllung



Um solche Löcher zu vermeiden, sollte bei dem Errichten der Mauer auf die Fugenstöße besonders geachtet und in solch einem Fall gegebenenfalls ein Zwickelstein kraftschlüssig verbaut werden. Im Nachhinein kann man solch einen Schaden beheben in dem man entweder die Stelle mit einem Zwickelstein versieht oder die Stelle vermörtelt.

Auch die Dicke der Hinterfüllung ist ein sehr wichtiger Aspekt, da bei der Ausführung Schäden entstehen können. So sollten die Abmaße aus der Prüfstatik immer eingehalten werden. Entstandene Unebenheiten in der Felsböschung wie zum Beispiel Auswölbungen sind nicht mit Hinterfüllmaterial auszugleichen sondern mit Mauersteinen.

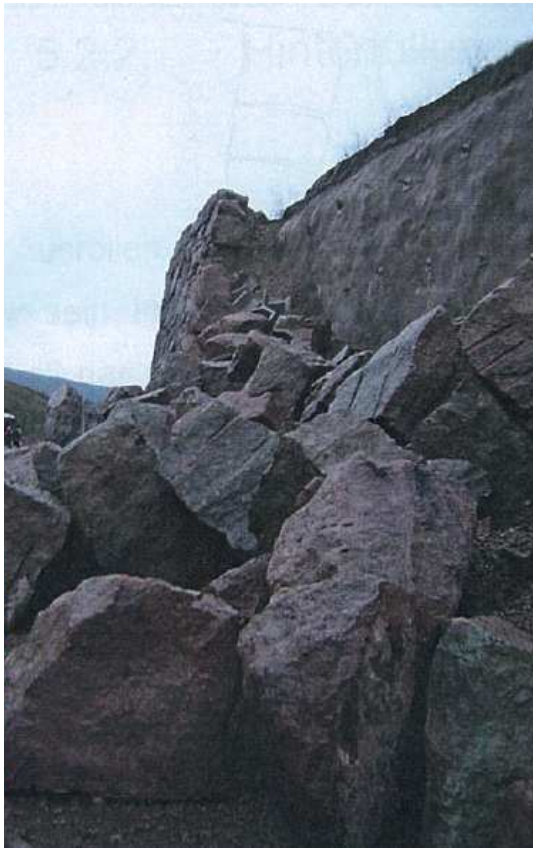


**Abbildung 62:**  
Ausführung bei Auswölbung nach [8]

Defizite in der Steintiefe dürfen auch nicht mit Hinterfüllmaterial ausgeglichen werden. Aus diesem Grund sollte die Steintiefe auf der ganzen Mauerhöhe nicht übermäßig springen. Die Mindestdiefe der Steine aus der Statik müssen eingehalten werden.

Solche Ausführungsfehler können nach Fertigstellung der Wand sehr schlecht erkannt werden und damit ist eine Behebung des Schadens sehr gering. Die Wahrscheinlichkeit, dass es früher

oder später zu Schädigungen an der Wand kommt ist sehr groß. Ausbeulen oder sogar Einstürze können entstehen.



**Abbildung 63:**  
Einsturz



**Abbildung 64:**  
Beräumte Einsturzstelle

Durch zerstörungsfreie Kontrollen mittels Georadar können Messungen vorgenommen werden, um die Ursachen für Einstürze zu finden. Mittels verschiedener Frequenzbereiche kann die Steindicke, Steinbeschaffenheit und Dicke der Hinterfüllung ermittelt werden. Aber auf Grund der unregelmäßigen Form der Steinblöcke und der inhomogenen Beschaffenheit des Materials können Aussagen nur im Dezimeterbereich getroffen werden.

#### Ursachen für Einstürze:

- Lage der Trockenmauer im Außenradius
- Höhe der Mauer zu groß
- verbautes Steinmaterial ungeeignet
- außergewöhnlicher Eintrag von Oberflächenwasser durch die unbewachsene Böschung und darüber liegenden Flächen



**Abbildung 65:**  
Einsturz



### 6.3 Verband

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Stoßfugen über mehrere Schichten durchgezogen. Damit ist absolut kein Kraftschluss mehr gegeben.



**Abbildung 66:**  
Durchgehende Stoßfuge

## 7. Beispiele für Ausschreibungstexte

### 7.1 Ausschreibung einer Schwergewichtsmauer

Position	Beschreibung	Menge	Einheit	EP [€]	GP [€]
....	<b>Schwergewichtstrockenmauern einbauen</b>	.....	m <sup>3</sup>	...	...
	<p>Schwergewichtstrockenmauern aus Natursteinen nach Zeichnung herstellen.</p> <p>Arbeitsgerüste werden nicht gesondert berechnet.</p> <p>Bauweise:</p> <p>Schwergewichtstrockenmauern aus bruchrauen, großformatigen, lagerhaften Natursteinen, als einseitiges Sichtmauerwerk einschl. der erf. Form-, Ecksteine an Anschlüssen und Anbindungen sowie deren besondere Bearbeitung, Steinsatzhöhe: .... m</p> <p>Ausführung:</p> <p>Gem. Beschreibung Angebot</p> <p>Lagerfugenausgleich in den Schichtungen aus gebrochenem Festgestein 16/32 (Granit, Diabas o.glw.).</p> <p>Material der Natursteine = gemäß Dienstanweisung</p> <p>Kennwerte:</p> <p>Rohdichte: je nach Gesteinsart</p> <p>Druckfestigkeit: <math>\geq 60 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Biegezugfestigkeit: <math>\geq 5 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Frostwiderstand/ Abwitterung: <math>\leq 4 \text{ M.-% (Wasser)}</math> bzw. <math>8 \text{ M.-% (NaCl)}</math></p> <p>Abmessungsverhältnis Quader: L / H / T</p>				

## 7.2 Ausschreibung einer Futtermauer

Position	Beschreibung	Menge	Einheit	EP [€]	GP [€]
....	<b>Futtertrockenmauern einbauen</b>	.....	m <sup>3</sup>	...	...
	<p>Futtertrockenmauern aus Natursteinen nach Zeichnung herstellen.  Arbeitsgerüste werden nicht gesondert berechnet.  Bauweise:  Futtertrockenmauern aus bruchrauen, großformatigen, lagerhaften Natursteinen, als einseitiges Sichtmauerwerk einschl. der erf. Form-, Ecksteine an Anschlüssen und Anbindungen sowie deren besondere Bearbeitung, Steinsatzhöhe: .... m  Ausführung:  Gem. Beschreibung Angebot</p> <p>Lagerfugenausgleich in den Schichtungen aus gebrochenem Festgestein 16/32 (Granit, Diabas o.glw.).  Material der Natursteine = gemäß Dienstanweisung  Kennwerte:  Rohdichte: je nach Gesteinsart  Druckfestigkeit: <math>\geq 60 \text{ N/mm}^2</math>  Biegezugfestigkeit: <math>\geq 5 \text{ N/mm}^2</math>  Frostwiderstand/ Abwitterung: <math>\leq 4 \text{ M.-% (Wasser)}</math>  bzw. <math>8 \text{ M.-% (NaCl)}</math></p> <p>Abmessungen: (je nach Maßnahme)  Steinhöhe:  Steinlänge:  Steintiefe:</p>				

### 7.3 Ausschreibung von Gabionen

#### 7.3.1 Gabionen als Drahtschotterbehälter / Steinkörbe

Position	Beschreibung	Menge	Einheit	EP [€]	GP [€]
....	<b>Drahtschotterbehälter / Steinkörbe einbauen</b>	.....	St	...	...
	<p>Drahtgeflechtbehälter mit Füllung aus frostbeständigem Steinmaterial einbauen. Behälter besteht aus mehrfach maschinell verdrehtem Drahtgeflecht, Randeinfassung mittels verstärkten Drähten, Trennwände in Abstand von 1 m sowie Verbindung der Behälter untereinander im Maschinenabstand nach Herstellerangaben.</p> <p>Erdarbeiten sowie das Erstellen von Standsicherheitsnachweisen und Ausführungszeichnungen werden gesondert vergütet.</p> <p>Gesamtwandhöhe = (je nach Maßnahme)</p> <p>Material:</p> <p>Material der Behälter = (siehe Herstellerangaben)</p> <p>Kennwerte für Behälter:</p> <p>Zinkauflage: .... g/m<sup>2</sup></p> <p>Zugfestigkeit:</p> <p>Material Verbindungsteile = (siehe Herstellerangaben)</p> <p>Abmessungen: (je nach Maßnahme, siehe Herstellerangaben)</p> <p>Behälterlänge =</p> <p>Behälterbreite =</p> <p>Behälterdurchmesser =</p> <p>Behälterhöhe =</p> <p>Maschenweite =</p> <p>Durchmesser Stahldraht <math>\geq 4,5 \text{ mm} \leq 6 \text{ mm}</math> (nach statischen Erfordernissen)</p>				

	<p>Füllart:</p> <p>Füllmaterial:</p> <p>Füllmaterial der Natursteine = Lockergesteine / Festgesteine (gemäß Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 „Naturgestein für Trockenmauern zur Böschungsabstützung, Hang- und Dammsicherung“, 02.01.2007 )</p> <p>Kennwerte für Füllmaterial:</p> <p>Rohdichte: je nach Gesteinstyp</p> <p>Druckfestigkeit: <math>\geq 60 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Biegezugfestigkeit: <math>\geq 5 \text{ MPA}</math></p> <p>Frostwiderstand/ Abwitterung: <math>\leq 4 \text{ M.-% (Wasser)}</math>  bzw. <math>8 \text{ M.-% (NaCl)}</math></p>		
--	--	--	--



### 7.3.2 Dichtungsschicht

Position	Beschreibung	Menge	Einheit	EP	GP
			t	[€]	[€]
....	<b>Dichtungsschicht einbauen</b>	.....	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	...	...
	<p>Dichtungsschicht aus bindigem Boden profilgerecht einbauen und verdichten.</p> <p>Dichtungsschicht entsprechend „Richtlinien für bautechnische Maßnahmen in Wassergewinnungsgebieten (RiStWag)“.</p> <p>Dichtungsschicht entsprechend „Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung (RAS-Ew)“ für Erdbecken.</p> <p>Dicke der Dichtungsschicht = 50 bis 75 cm</p> <p>Boden aus Abtragsschicht profilgerecht lösen.</p> <p>Boden aus Abtragsschicht außerhalb der Baustelle auf Flächen nach Unterlagen des AG profilgerecht lösen und fördern.</p> <p>Boden, innerhalb der Baustelle gelagert, laden.</p> <p>Gelagerten Boden des AG außerhalb der Baustelle auf Flächen nach Unterlagen des AG laden und fördern.</p> <p>Boden liefern.</p> <p>Mittlere Länge des Förderweges bis 0,25 km.</p> <p>Mittlere Länge des Förderweges über 0,25 km bis 0,5 km.</p> <p>Mittlere Länge des Förderweges über 0,5 km bis 1 km.</p> <p>Mittlere Länge des Förderweges über 1 km bis 2,5 km.</p> <p>Mittlere Länge des Förderweges über 2,5 km bis 5 km.</p> <p>Mittlere Länge des Förderweges ...</p> <p>Abgerechnet wird nach Auftragsprofilen.</p> <p>Abgerechnet wird nach Abtragsprofilen.</p> <p>Abgerechnet wird nach Aufmaß auf dem Fahrzeug</p>				

#### 7.4 Ausschreibung einer Blockschichtung (Blocksteinmauer / Quadermauer)

Position	Beschreibung	Menge	Einheit	EP	GP
			t	[€]	[€]
....	<b>Quadermauer einbauen</b>	.....	m³	...	...
	<p>Quadermauer aus Natursteinen nach Zeichnung herstellen, einschließlich Form- und Ecksteinen sowie deren besondere Bearbeitung, einschließlich Ausbildung der Anschlüsse der Quadermauern in Kaskadenbereichen einschließlich Ausbildung der Wandenden.</p> <p>(Wandabstufung 1:1,5)</p> <p>Mauerwerk für Wand, einseitig als Sichtmauerwerk , im Grundriss gekrümmt,</p> <p>Ansichtsfläche ...° geneigt,</p> <p>Sohle zum Hang fallend, Neigung entsprechend Zeichnung.</p> <p>Art: Quadermauerwerk</p> <p>Material der Natursteine = gemäß Dienstanweisung</p> <p>Kennwerte:</p> <p>Rohdichte: je nach Gesteinstyp</p> <p>Druckfestigkeit:        <math>\geq 60 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Biegezugfestigkeit:   <math>\geq 5 \text{ MPA}</math></p> <p>Frostwiderstand/ Abwitterung:   <math>\leq 4 \text{ M.-% (Wasser)}</math>     bzw. <math>8 \text{ M.-% (NaCl)}</math></p> <p>Bei der Herstellung des Steinsatzes, Abstand zwischen Mauerwerksrückseite und ... : ... Böschung (als Dränschicht Dicke 10-50 cm) vollständig Zug um Zug mit Splitt 16/32 verfüllen.</p> <p>Steinsatz mit versetzten Fugen, Fugenbreite bis 8 cm, größere Fugen in der Ansichtsfläche oberflächenbündig schließen (auszwickeln.)</p> <p>Steinhöhe: 60 – 100 cm</p> <p>Steinlänge: 60 – 120 cm</p> <p>Steinbreite: 110 – 120 cm</p> <p>Verlegung erfolgt im Verband,</p> <p>Maueroberkante mit passigen Steinen für gleichmäßigen Verlauf in der Ansicht ergänzen</p>				

	Mauerwerkshöhe bis 7,00 m		
--	---------------------------	--	--

## 7.5 Ausschreibung einer Absturzsicherung

Die folgenden Positionen beziehen sich auf die Herstellung des Geländers auf dem Stützwandkopf.

Position	Beschreibung	Menge	Einheit	EP [€]	GP [€]
<b>... . 1</b>	<b>Bohrloch herstellen</b>	.....	St	...	...
	Bohrloch nach Unterlagen des AG herstellen. Bohrloch ausspülen. Bauteil „Stützwandkopf“ Bohrloch in Natursteinmauerwerk. Neigung der Bohrung „senkrecht“ Bohrloch-Tiefe > 30 cm Durchmesser 70 mm				
<b>... . 2</b>	<b>Stahlgeländer einbauen</b>	.....	m	...	...
	Stahlgeländer nach Unterlagen des AG einbauen. Abgerechnet wird nach Länge des Handlaufs zwischen den Achsen der Endpfosten bzw. Endstäbe. Geländer auf Stützwandkopf Material = Nichtrostender Stahl Höhe des Geländers = max. Pfostenabstand = 3,0 m Ausbildung als Sicherungsgeländer mit Stahlseilen Verankerung durch Einbetonieren des Pfostens in Bohrloch mit Verguss-Mörtel C45/55 (schwindarm und hoher Frost-Tausalz-Widerstand)				
<b>... . 3</b>	<b>Zulage Windaussteifungen</b>	1,0	Psch	...	...
	Zulage zu Stahlgeländer: Windaussteifungen nach statischer und konstr. Erfordernissen einschl. aller Verbindungsmittel herstellen und montieren. Material wie Stahlgeländer.				
<b>... . 4</b>	<b>Zulage Endpfosten</b>	.....	St	...	...
	Zulage zu Stahlgeländer: Verankerung der Endpfosten nach Unterlagen des AG einschl. aller				

	Verbindungsmittel herstellen. Material wie Stahlgeländer.		
--	--	--	--

## Literaturverzeichnis

### Internet:

- [1] - [http://www.bast.de/cln\\_032/nn\\_795118/DE/Aufgaben/abteilung-s/referat-s2/S2-Frostzonenkarte.html](http://www.bast.de/cln_032/nn_795118/DE/Aufgaben/abteilung-s/referat-s2/S2-Frostzonenkarte.html)
- [2] - [http://www.stonewalls.ch/userfiles/file/TM\\_Stuetzmauern%20Trockenmauerwerk.pdf](http://www.stonewalls.ch/userfiles/file/TM_Stuetzmauern%20Trockenmauerwerk.pdf)
- [3] - [http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/bud/tba/download/richtlinien/WAV-334\\_Trockenmauern.pdf](http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/bud/tba/download/richtlinien/WAV-334_Trockenmauern.pdf)
- [4] - <http://homepages.thm.de/~hg8195/Skripte/Grund2.pdf>

### Literatur:

- [5] - Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 „Naturgestein für Trockenmauern zur Böschungsabstützung, Hang- und Dammsicherung“, 02.01.2007
- [6] - Merkblatt über Stützkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen, Ausgabe 2003
- [7] - DIN 1053 Teil 1: Rezeptmauerwerk – Berechnung und Ausführung; Februar 1990
- [8] - Praktikumsarbeit – Futtermauern
- [9] - DIN EN 771 Teil 6: Festlegungen für Mauersteine – Natursteine
- [10] - DIN EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
- [11] - Dienstanweisung Nummer 01/2007-3.3/1 (02.01.2007): Katalog der fremdüberwachten Naturgesteine für Trockenmauern zur Böschungsabstützung, Hang- und Dammsicherung
- [12] - RStO 12: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen; FGSV, Ausgabe 2012
- [13] - Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung von Bauwerken
- [14] - ZTV E-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau; FGSV, Ausgabe 2009
- [15] - Dienstanweisung Nummer 11/2008-33/7 (13.05.2008): Einsatz von Gesteinskörnungen als Dränagematerial
- [16] - Merkblatt für einfache landschaftsgerechte Sicherungsbauweisen
- [17] - Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung der einachsigen Druckfestigkeit; Ausgabe 2006
- [18] - Empfehlungen für die landschaftsgerechte Gestaltung von Stützbauwerken, Ausgabe 1999

- [19]** - DIN 4124 „Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten, Ausgabe 2012
- [20]** - Steine von Steinbach – Handout RAW-Steinkorb
- [21]** DIN 52106 „Prüfung von Gesteinskörnungen – Untersuchungsverfahren zur Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit“, Ausgabe 2004
- [22]** - Veröffentlichung des Bundesverbandes Mineralische Rohstoffe e.V. „Mineralische Füllmaterialien für Steinkörbe“

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	-	Schergewichtsmauer .....	6
Abbildung 2	-	Futtermauer nach [8] .....	7
Abbildung 3	-	Blockschichtung .....	8
Abbildung 4	-	Gabionen nach [20] .....	9
Abbildung 5	-	Schalenbildung nach [8] .....	19
Abbildung 6	-	Ausblühen / Krustenbildung / Versalzung nach [8] .....	19
Abbildung 7	-	Gründung mit Ausgleichsschicht nach [6] .....	28
Abbildung 8	-	Gründung mit Fundament nach [6] .....	28
Abbildung 9	-	Ausbildung der Querneigung nach [8] .....	28
Abbildung 10	-	Ausbildung Längsgefälle über Abtreppung nach [8] .....	29
Abbildung 11	-	Frosteinwirkungszonen Deutschland nach [1] .....	31
Abbildung 12	-	Gründung mit eines Schotterpolsters nach [8] .....	35
Abbildung 13	-	Gründung mit Schotterpolster und Dränage nach [8] .....	36
Abbildung 14	-	Gründung mit Ausgleichsschicht nach [8] .....	37
Abbildung 15	-	Ausbildung Oberflächenentwässerung nach [8] .....	38
Abbildung 16	-	Detaildarstellung Längsschnitt Sandfang nach [8] .....	39
Abbildung 17	-	Entwässerung über Kaskaden in Mulde nach [8] .....	40
Abbildung 18	-	Entwässerung in Mulde nach [8] .....	40
Abbildung 19	-	Entwässerung über Sandfang mit Anschluss an die Fahrbahmentwässerung nach [8] .....	40
Abbildung 20	-	Sandfang mit Anschluss an die Fahrbahmentwässerung nach [8] ....	40
Abbildung 21	-	Falsche Anordnung der Stoßfugen .....	41
Abbildung 22	-	Überdeckung der Stoßfugen .....	41
Abbildung 23	-	Kreuzfugen .....	42
Abbildung 24	-	Fehlerhafter Einbau der Steine .....	42
Abbildung 25	-	Aufbau einer Trockenmauer nach [3] .....	44
Abbildung 26	-	Steinvorsätze .....	45
Abbildung 27	-	Fehlerhafter Einsatz von Zwickelsteinen - lose Zwickelsteine .....	46
Abbildung 28	-	schadhafte Zwickelsteine .....	46
Abbildung 29	-	Steinversätze nach [3] .....	47
Abbildung 30	-	Fugenbild nach [3] .....	48
Abbildung 31	-	Ausbildung der Kreuzfuge nach [3] .....	49



Abbildung 32	- Ausbildung der Stoßfuge nach [3] .....	49
Abbildung 33	- Trockenmauerwerk nach [7] .....	50
Abbildung 34	- Zyklopenmauerwerk nach [7] .....	50
Abbildung 35	- Bruchsteinmauerwerk nach [7] .....	51
Abbildung 36	- Hammerechtes Schichtenmauerwerk nach [7] .....	51
Abbildung 37	- Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk nach [7] .....	51
Abbildung 38	- Regelmäßiges Schichtenmauerwerk nach [7] .....	52
Abbildung 39	- Quadermauerwerk nach [7] .....	52
Abbildung 40	- Absturzsicherung .....	53
Abbildung 41	- Querschnitt einer Absturzsicherung .....	54
Abbildung 42	- Anfangs- bzw. Endpfosten .....	55
Abbildung 43	- Windaussteifung .....	55
Abbildung 44	- Einschalige Stützmauer aus Naturstein nach [2] .....	63
Abbildung 45	- Massive Stützmauer aus Naturstein nach [2] .....	64
Abbildung 46	- Aufbau einer Futtermauer .....	65
Abbildung 47	- Aufbau einer Blockschichtung nach [16] .....	66
Abbildung 48	- Schotter, geschüttet .....	68
Abbildung 49	- Bruchstein geschichtet .....	68
Abbildung 50	- Zyklopensteine .....	69
Abbildung 51	- Gabionen.....	72
Abbildung 52	- geschüttete Drahtkörper nach [20] .....	73
Abbildung 53	- Vlies im Korb .....	74
Abbildung 54	- Vlies hinter dem Korb .....	74
Abbildung 55	- Vlies auf der Böschung .....	75
Abbildung 56	- Rissbild nach [8] .....	80
Abbildung 57	- Rissbild .....	81
Abbildung 58	- Rissbild .....	81
Abbildung 59	- Rissbild .....	82
Abbildung 60	- Rissbild .....	82
Abbildung 61	- Heraustretende Hinterfüllung .....	83
Abbildung 62	- Ausführung bei Auswölbung nach [8] .....	84
Abbildung 63	- Einsturz .....	85
Abbildung 64	- Beräumte Einsturzstelle .....	85
Abbildung 65	- Einsturz .....	86

Abbildung 66	-	Durchgehende Stoßfuge .....	87
--------------	---	-----------------------------	----

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1	-	Gesteinsarten .....	16
Tabelle 2	-	Abmessungen der Bruchsteinquader und der Trockenmauer .....	17
Tabelle 3	-	Böschungswinkel nach [19] .....	21
Tabelle 4	-	Böschungsarten nach [19] .....	22
Tabelle 5	-	Tiefe des Aushubs im Bezug der Mauerhöhe .....	29
Tabelle 6	-	Funktion der Steine nach [3] .....	43
Tabelle 7	-	Kontrollprüfungen am Naturstein .....	58
Tabelle 8	-	Anforderungen an Überkorn / Unterkorn .....	69