

*Universität der Bundeswehr München*

Institut für **Werkstoffe**  
**des Bauwesens**

Bauchemie und Werkstoffe des  
Bauwesens

Mauersteine und Mörtel

Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-Ch. Thienel

Frühjahstrimester 2020

# Inhaltsverzeichnis

1	Mauerwerk (Mauersteine, Putz und Mauermörtel)	3
1.1	Definitionen	3
1.2	Normen	3
1.3	Aufgaben von Mauerwerkbauteilen	3
2	Mauersteine	5
2.1	Keramische gebundene Mauerziegel	6
2.1.1	Abbau der Rohstoffe	6
2.1.2	Aufbereitung	6
2.1.3	Formen	6
2.1.4	Trocken/Brennen	6
2.2	Mineralisch gebundene Steine	7
2.2.1	Kalksandsteine	7
2.2.2	Porenbeton	9
2.2.3	Beton- und Leichtbetonsteine	11
2.3	Merkmale, wichtige Eigenschaften und Anforderungen	11
2.3.1	Rohdichte und Festigkeit	11
2.3.2	Steingrößen (Formate), Lochungen, Stoßflächenausbildung, Maßgenauigkeit	12
3	Mauermörtel	19
3.1	Lieferformen	19
3.2	Mauermörtelarten	20
4	Festigkeit und Verformungseigenschaften von Mauerwerk	23
5	Putzmörtel	26
5.1	Einteilung der Putze	26
6	Literatur	34

Das vorliegende Skript basiert auf dem Skript „Mauerwerk“ zur Grundvorlesung in Baustoffkunde von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. P. Schießl vom Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffkunde der Technischen Universität München [1]. Für dessen freundliche Genehmigung möchte ich mich ausdrücklich bedanken.

# 1 Mauerwerk (Mauersteine, Putz und Mauermörtel)

## 1.1 Definitionen

Mauerwerk besteht aus Mauersteinen, die im Verband (versetzte Stoß- und Lagerfugen) verlegt werden. Früher wurden die Mauersteine durch Mörtel im Stoß-, Lager- und/oder Fugenbereich verbunden werden. Heute wird zunehmend Mauerwerk mit nur teil- oder unvermörtelten, verzahnten Stoßfugen verwendet. Unter bestimmten Voraussetzungen kann im Rahmen einer erfolgten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung auch Trockenmauerwerk ohne Fugenmörtel mit sehr maßhaltigen Mauersteinen (Plansteinen) angewendet werden.

## 1.2 Normen

Mauerwerk ist in den europäischen Normen der Reihe der DIN EN 1996, Eurocode 6, geregelt. Die Normen der DIN EN 1996, Eurocode 6 gelten für die Konstruktion und Bemessung von Gebäuden und Ingenieurbauten oder deren Teilen aus unbewehrtem, bewehrtem, vorgespanntem und eingefasstem Mauerwerk. Eurocode 6 behandelt nur die Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit, die Instandhaltbarkeit und die Haltbarkeit von Bauwerken. Andere Anforderungen wie etwa an die Wärme- und Schalldämmung werden nicht berücksichtigt. Für die Bemessung und Konstruktion neuer Bauten wird EN 1996 direkt in Kombination mit EN 1990, EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1997, EN 1998 und EN 1999 verwendet.

Eurocode 6 umfasst die folgenden Teile:

- EN 1996-1 („Eurocode 6“) „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“:
  - Teil 1-1 „Allgemeine Regeln; Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk“ [2].
  - Teil 1-2 „Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall“ [3].
- EN 1996-2 „Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk“ [4].
- EN 1996-3 „Vereinfachte und einfache Regeln für Mauerwerkstragwerke“ [5].

## 1.3 Aufgaben von Mauerwerkbauteilen

Durch die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten von Mauersteinen und Mauermörtel mit jeweils unterschiedlichen Festigkeits-, Verformungs- und bauphysikalischen Eigenschaften, können Mauerwerkbauteile für viele verschiedenartige Aufgaben funktionswirksam und wirtschaftlich eingesetzt werden. Mauerwerk kann die unterschiedlichen Anforderungen an Standsicherheit, Gebrauchsfähigkeit und architektonische Gestaltung gleichzeitig erfüllen (Tabelle 1).

Um für den jeweiligen Anwendungsfall die günstigste Mauerstein Mauermörtelkombination auswählen zu können, müssen Baustoffeigenschaften, das Zusammenwirken der Mauerwerkbaustoffe, Verträglichkeitskriterien und Anwendungsgesichtspunkte ausreichend bekannt sein und berücksichtigt werden.

Mauerwerk wird zumeist im Hochbau eingesetzt. Wegen der vergleichsweise großen Flexibilität und vor allem wegen der guten bauphysikalischen Eigenschaften findet Mauerwerk überwiegend im Wohnungsbau Verwendung. Mehr als 90 % der Wohnungsbauten werden in Mauerwerk ausgeführt. Aber auch im Industrie- und Verwaltungsbau wird Mauerwerk verwendet.

Tabelle 1: Aufgaben von Mauerwerksbauteilen

Standsicherheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Abtrag von Eigenlast, Verkehrslast und Windlast</li> <li>○ Brandschutz</li> </ul>
Gebrauchsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aufnahme von Verformungen aus Last, Feuchte- und Temperaturänderungen ohne Risse (?)</li> <li>○ Wärmeschutz (Wärmedämmung, Wärmespeicherung ⇒ winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz)</li> <li>○ Schallschutz</li> <li>○ Witterungsschutz (Durchfeuchtung, Frost, Wind, Dauerhaftigkeit)</li> </ul>
architektonische Gestaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Oberflächengestaltung (Farbe, Sichtmauerwerk)</li> <li>○ Fassadengliederung</li> </ul>

Grundsätzlich kann Mauerwerk als Verbundbaustoff in analoger Weise zum Beton betrachtet werden: Die (kleinformatigen) Mauersteine entsprechen der Gesteinskörnung im Beton und der Mörtel der Betonmatrix.

Wie Beton ist auch Mauerwerk ein Baustoff, der in erster Linie für eine Druckbeanspruchung geeignet ist. Die Beanspruchbarkeit auf Zug, Biegezug und Schub ist wesentlich geringer als die auf Druck. Die Tragfähigkeit des Mauerwerks kann durch verschiedene Maßnahmen gesteigert werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Möglichkeiten zur Steigerung der Tragfähigkeit von Mauerwerk

Stofflich	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Höhere Steindruckfestigkeit (wichtig für eine höhere Steinquerzugfestigkeit)</li> <li>○ Höhere Maßhaltigkeit</li> <li>○ Höhere Mörteldruckfestigkeit</li> <li>○ Optimierte abgestimmte Querverformungseigenschaften von Stein und Mauermörtel</li> <li>○ Höhere Verbundfestigkeit zwischen Stein und Mauermörtel</li> <li>○ Reduzierte Streuung der Eigenschaften</li> </ul>
Konstruktiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Dünne Mörtelfuge (Mittel- oder Dünnbettmörtel)</li> <li>○ Vermeiden einer Wandlängsfuge (Wanddicke = Steinbreite)</li> <li>○ Bewehrung</li> </ul>
Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vollenfügendes Vermauern</li> <li>○ Hohe Gleichmäßigkeit (Fugendicke)</li> <li>○ Günstige Vor- und Nachbehandlung</li> <li>○ Maßhaltige Ausführung</li> </ul>

## 2 Mauersteine

Künstliche Steine werden nach ihren Ausgangsstoffen eingeteilt:

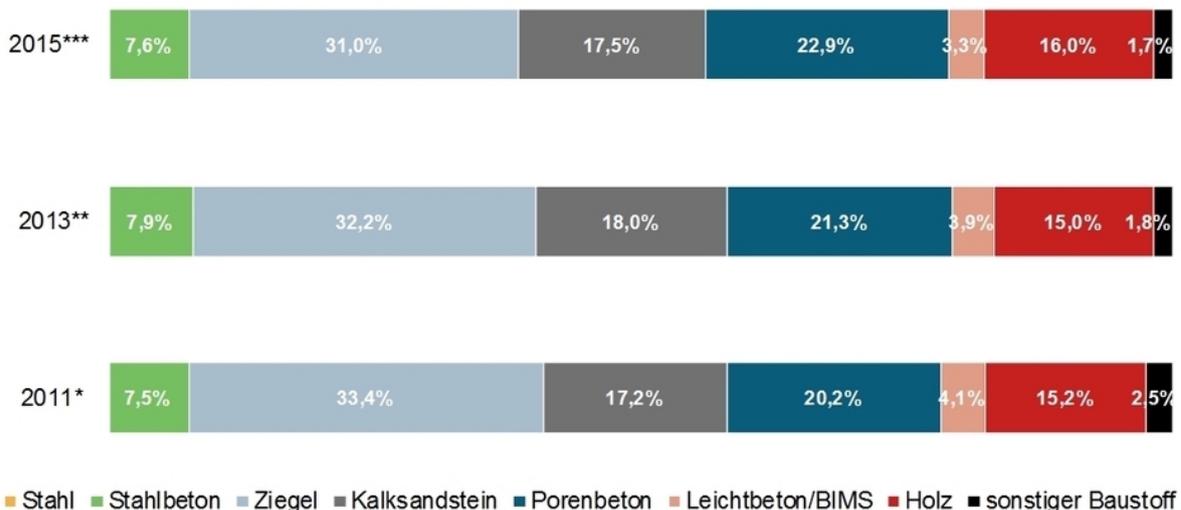
keramisch	mineralisch gebunden
Mauerziegel, weitere Ziegeleierzeugnisse, feuerfeste keramische Baustoffe	Kalksandsteine, Porenbeton (Gasbeton) Hüttensteine, Betonsteine, Leichtbetonsteine, Gipsbausteine, Faserzement, Glas

Zu den künstlichen Steinen zählen in diesem Zusammenhang die verschiedensten Produkte wie z. B. Mauersteine, Dachziegel, Rohre und Platten.

Am Markt sind im Wesentlichen die folgenden Mauersteinarten vertreten:

- Mauerziegel,
- Kalksandsteine,
- Porenbetonsteine sowie
- Leichtbeton- und Normalbetonsteine.

Bild 1 zeigt die Marktanteile der verschiedenen Mauersteine bei genehmigten Wohngebäuden in Deutschland zusammen mit anderen Wandbaustoffen. Mauerwerk dominiert dieses Segment nach wie vor.



\* genehmigte Gebäude 2011: 112.698 \*\* genehmigte Gebäude 2013: 113.291 \*\*\* genehmigte Gebäude 2015: 120.771

Bild 1: Anteile von Wandbaustoffen bei genehmigten Wohngebäuden in Deutschland [6]

Die Herstellung der vier wesentlichen Mauersteinarten wird nachfolgend im Einzelnen behandelt.

## **2.1 Keramische gebundene Mauerziegel**

### **2.1.1 Abbau der Rohstoffe**

Hauptbestandteil der keramischen Rohstoffe ist Ton. Er entsteht bei der Verwitterung von Feldspat und hat einen hohen Anteil an Tonmineralien (Kaolinit, Illit oder/und Montmorillonit). Die Tonminerale haben Blattstruktur mit Durchmesser der Blättchen von 0,1 - 2  $\mu\text{m}$ , Dicke meist weniger als 0,1  $\mu\text{m}$  und können Zwischenschichtwasser anlagern [7, 8]. Diese Struktur hat das Quellen und Schwinden der Tone sowie deren gute plastische Verformbarkeit zur Folge.

Neben den bildsamen, tonigen Bestandteilen müssen die Rohstoffe für keramische Werkstoffe gröbere, nicht bildsame Anteile enthalten, insbesondere Minerale wie Quarz, Feldspat, Glimmer und oder auch fein verteilten Kalk. Die nicht bildsamen Rohstoffe erleichtern das Trocknen und verringern das Schwinden (Magerungsmittel). Sie beeinflussen die Standfestigkeit im Feuer und wirken beim Brennen als Fluss-, Farb- oder Porosierungsmittel. Flussmittel setzen den Erweichungsbeginn und den Schmelzpunkt des Stoffgemisches herab. Als Porosierungsmittel kommen meistens organische Stoffe (z. B. Sägemehl oder Polystyrolkügelchen) zum Einsatz, die beim Brand herausbrennen und Poren hinterlassen. [1, 9]

### **2.1.2 Aufbereitung**

Bei der Aufbereitung werden unerwünschte Bestandteile ausgeschieden, Schwankungen der Rohstoffzusammensetzung ausgeglichen und der für die Formgebung nötige Feuchtegehalt eingestellt. In Walzen und Kollergängen werden grobe Bestandteile zerkleinert und die Masse homogenisiert. Aneinander haftende Teilchen werden voneinander gelöst. Lagern, insbesondere bei erhöhter Temperatur, verbessert die gleichmäßige Durchfeuchtung und die Verarbeitbarkeit der Rohmasse.

### **2.1.3 Formen**

Die Formgebung geschieht bei Ziegeln in Strangpressen. Fliesen und Falzziegel werden in Stempelpressen, Sanitärkeramik auch im Gießverfahren hergestellt.

### **2.1.4 Trocken/Brennen**

Beim Trocknen verdunstet größtenteils das für die Formgebung benötigte Wasser. Das Brennen erfolgt bei Grobkeramik in Tunnelöfen (Ziegel bei 900 bis 1100  $^{\circ}\text{C}$ ). Für keramische Platten werden auch Rollenöfen verwendet.

Bei ca. 120  $^{\circ}\text{C}$  wird das physikalisch, bei 450 - 600  $^{\circ}\text{C}$  das chemisch gebundene Wasser ausgetrieben. Bei etwa 800  $^{\circ}\text{C}$  bilden sich neue Kristalle, die sich untereinander verflechten. Ab etwa 1000  $^{\circ}\text{C}$  erweichen die Tonmineralien an ihren Oberflächen und verschmelzen miteinander. Dieser Vorgang wird als Sintern bezeichnet. Häufig versteht man unter Sintern auch nur das Dichtbrennen keramischer Produkte, durch das die Wasseraufnahmefähigkeit sehr klein wird (z. B. unter 6 Masse-% bei Klinkern).

Die Farbe der keramischen Produkte nach dem Brand hängt hauptsächlich vom Gehalt an Metalloxiden ab. Z. B. erhält man rote Ziegel durch einen bestimmten Gehalt an Eisenoxid, gelbe Ziegel entstehen aus eisenarmen Rohstoffen. Außerdem spielt die Ofenatmosphäre für die Brennfarbe eine Rolle. Die hellrote Farbe bei Ziegeln erhält man nur in oxidierender

(sauerstoffreicher) Atmosphäre. In reduzierender (sauerstoffarmer) Atmosphäre entsteht meistens eine dunklere (z. B. blauschwarze) Färbung.

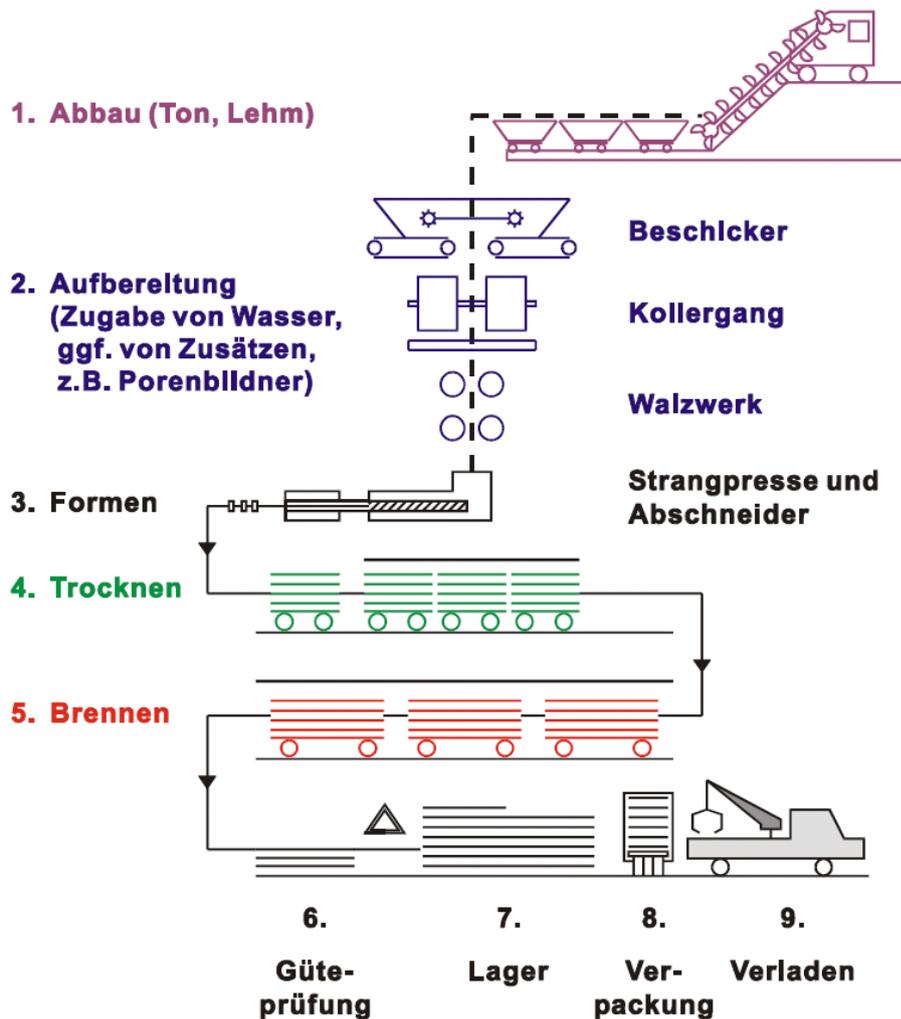


Bild 2: Verfahrensschritte zur Herstellung von Mauerziegeln [1]

Mauerziegel sind nach DIN EN 771-1 [10] genormt und werden nach DIN 20000-401 [11] in den Klassen der Brutto-Trockenrohichte von 0,8 bis 2,4 und den Druckfestigkeitsklassen 4 bis 60 deklariert.

## 2.2 Mineralisch gebundene Steine

Im Unterschied zu den keramischen Baustoffen, bei denen die Gesamtmasse einem Brennprozess unterzogen wird, wird bei mineralisch gebundenen Steinen wie z.B. Kalksandsteinen, Porenbetonsteinen oder Beton- und Leichtbetonsteinen nur das Bindemittel bzw. zum Teil die eingesetzte leichte Gesteinskörnung (z. B. Blähton) gebrannt. Der Stein selbst erhärtet bei Normaltemperatur oder aber bei erhöhter Temperatur, die weit unter der Brenntemperatur liegt.

### 2.2.1 Kalksandsteine

Kalksandsteine (KS) werden aus gemahlenem, ungelöschtem Kalk (rund 6 bis 10 Masse-%) und erdfeuchtem Quarzsand unter Wasserzugabe hergestellt. Zunächst wird nur so viel Wasser zugegeben, dass der ungelöschte Kalk (CaO) vollständig ablöscht (Reaktoren). Nach einer

weiteren Wasserzugabe und intensivem Mischen der Ausgangsstoffe werden unter Druck Rohlinge geformt (Pressdruck bis  $40 \text{ N/mm}^2$ ), die anschließend unter Dampfdruck von 16 bis 21 bar bei einer Temperatur von  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  im Autoklaven gehärtet werden (Härtungsdauer 4 bis 10 Stunden). Die Abläufe in einem Kalksandsteinwerk zeigt Bild 3.

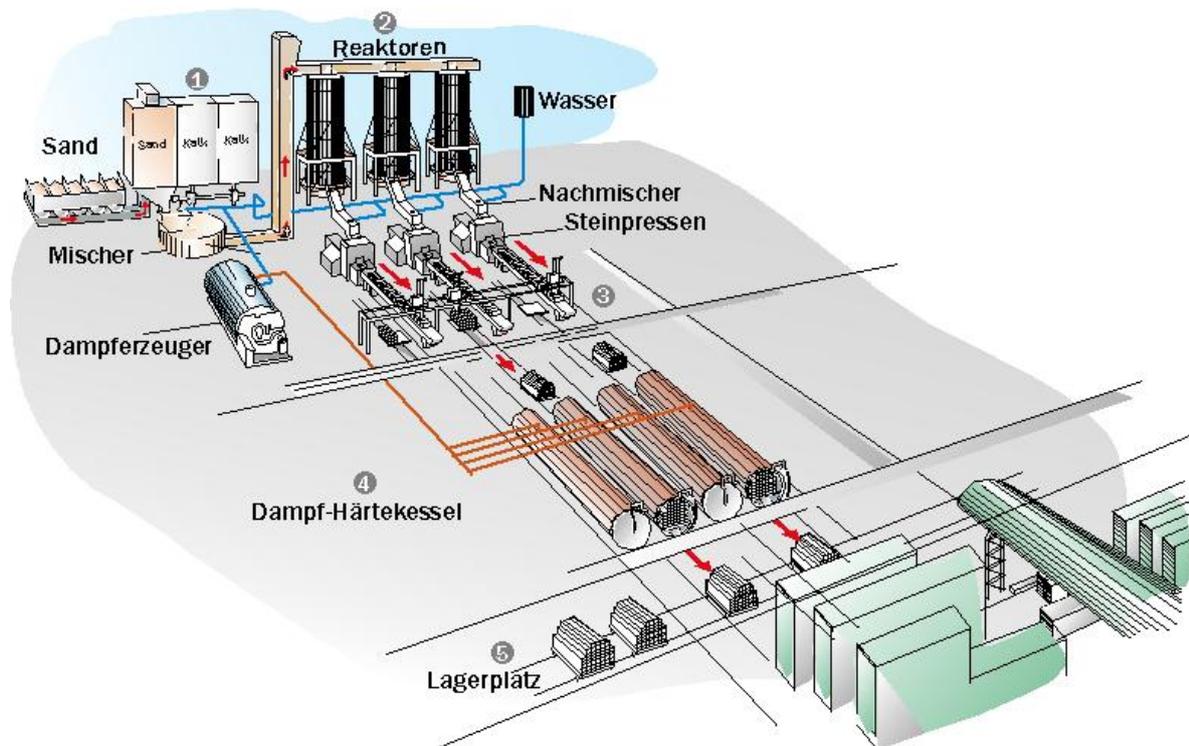


Bild 3: Herstellung von Kalksandsteinen [12, 13]

Während der Dampfhärtung wird die Kieselsäure an der Sandoberfläche aufgeschlossen und bildet mit dem Kalkhydrat feste, wasserunlösliche Calciumsilikathydrate. Dadurch wird eine widerstandsfähige Verkittung der Gesteinskörnung erreicht (Bild 4).

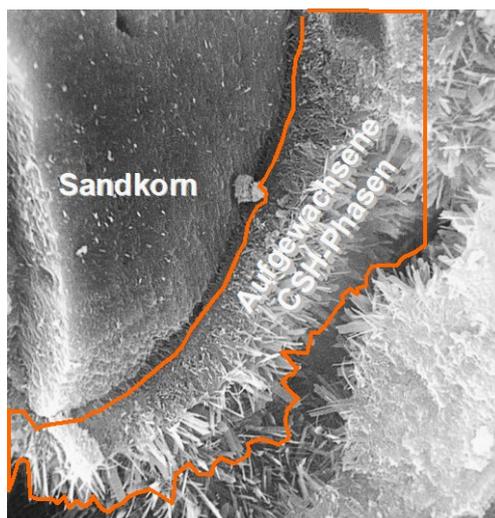


Bild 4: Kalksandstein mit CSH-Phasen auf einem Sandkorn nach der Dampfhärtung [12]

Kalksandsteine sind nach DIN EN 771-2 [10] genormt und werden nach DIN 20000-2 [14] in den Rohdichteklassen 0,5 bis 2,4 und den Druckfestigkeitsklassen 5 bis 75 deklariert.

## 2.2.2 Porenbeton

Das Verfahren zum Herstellen von Porenbeton ist für Steine und Blöcke ebenso geeignet wie für größere Elemente, die zudem noch bewehrt sein können.

### 2.2.2.1 Rohstoffe [15]

Ausgangsstoffe für den Porenbeton sind kieselsäurehaltige Stoffe (Quarzsand), Zement, Kalk, porenbildende Mittel und Wasser. Andere Stoffe dürfen bei der Herstellung zugegeben werden [16]. Der Sand wird im Porenbetonwerk in großen Mühlen zementfein oder zu Schlämmen gemahlen. Als Bindemittel wird Zement und/oder Kalk teilweise auch Hochofenschlacke oder Ölschieferasche verwendet. Zur Steuerung des Produktionsablaufs wird Anhydrit oder Gips hinzugefügt. Aluminium wird in Form von Pulver oder Paste als Treibmittel eingesetzt. Für die Herstellung von 1 m<sup>3</sup> Porenbeton der Rohdichte 400 kg/m<sup>3</sup> werden 215 kg/m<sup>3</sup> Sand, 135 kg/m<sup>3</sup> Kalk und/oder Zement, 16 kg/m<sup>3</sup> Anhydrit/Gips, 0,5 kg/m<sup>3</sup> Aluminium und 225 Wasser benötigt.

### 2.2.2.2 Produktion und chemische Reaktion [15]

Die Rohstoffe werden dosiert und in einem Mischer zu einer wässrigen Suspension gemischt. Die gießförmige Rohmasse wird in große Formen eingefüllt. Dort kommt es zu einer Reaktion des Treibmittels mit dem Calciumhydroxid, wodurch Wasserstoffgas entsteht, das Poren erzeugt und die Rohmasse aufbläht. Das Wasserstoffgas diffundiert schon während des Herstellungsvorganges aus dem Porenbeton, sodass sich danach nur noch Luft in den Poren befindet (Bild 5).

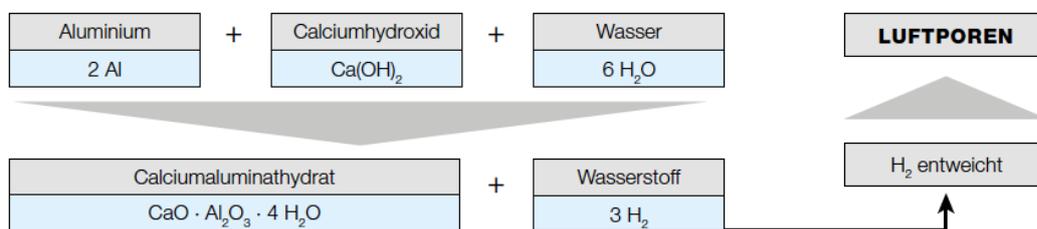


Bild 5: Chemische Reaktion beim Treiben und bei der Porenbildung [15]

Nach dem Treibvorgang entstehen durch chemische Reaktion der Silikate mit dem Wasser Hydratphasen, die dem Porenbeton die für das Schneiden erforderliche Standfestigkeit verleihen (Bild 6). Mit Hilfe von Schneiddrähten wird der junge Porenbeton in die gewünschten Formate geschnitten.

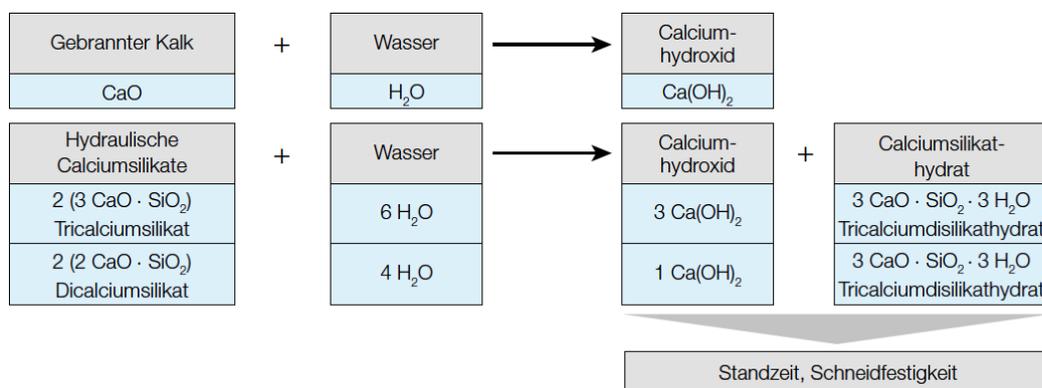


Bild 6: Chemische Reaktion beim Abbinden von Porenbeton [16]

Anschließend erfolgt die Dampfhärtung im Autoklaven entsprechend der Herstellung von Kalksandsteinen. Während der Autoklavhärtung erhält der Porenbeton seine baupraktisch relevante Festigkeit (Bild 7). Bei einer Satttdampf Atmosphäre von 190 °C bei einem Druck von 12 bar reagiert der gemahlene Sand unter Beteiligung von Calciumhydroxid und Wasser. Dabei entsteht die für den baupraktischen Einsatz erforderliche Festigkeit des Porenbetons durch das entstehende Calcium-Silikat-Hydrat, das dem in der Natur vorkommenden Mineral Tobermorit entspricht [17-19].

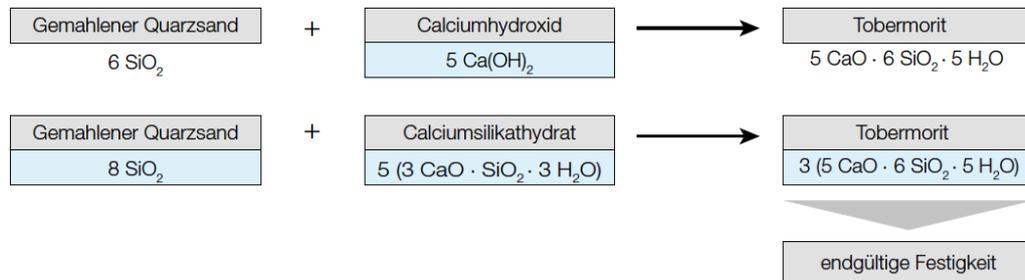


Bild 7: Chemische Reaktionen beim Härten im Autoklaven [15]

Bild 7 gibt einen Überblick über die verschiedenen Produktionsschritte bei der Herstellung von Porenbeton. Der Teil mit der Bewehrung ist nur bei der Herstellung von Porenbetonelementen zu finden.

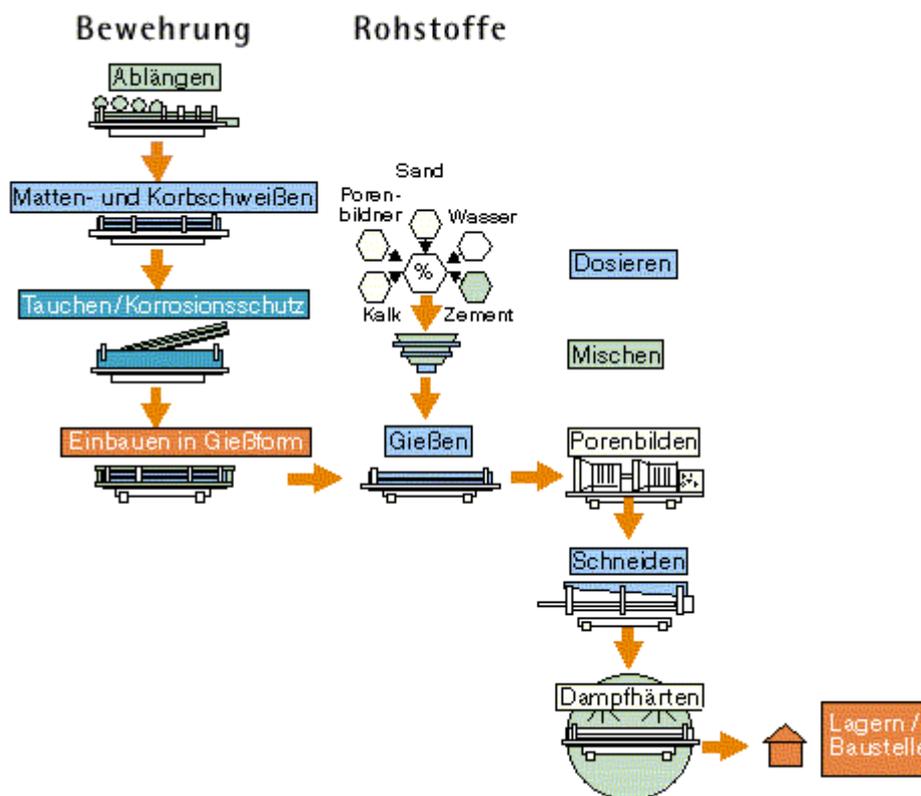


Bild 8: Herstellung von Porenbetonsteinen bzw. -elementen (nach Laubhan)

Porenbetonsteine sind nach DIN EN 771-4 [16] genormt und werden nach DIN 20000-4 [20] in den Rohdichteklassen 0,35 bis 1,0 und den Druckfestigkeitsklassen 2 bis 8 deklariert.

### 2.2.3 Beton- und Leichtbetonsteine

Leichtbeton- und Betonsteine werden hauptsächlich mit haufwerksporigem Gefüge hergestellt. Die Mischungsbestandteile (leichte oder normale Gesteinskörnung, Zement, Flugasche und Wasser) werden zunächst gravimetrisch oder volumetrisch dosiert und gemischt. Aus dem Mischer gelangt der Beton in den Füllkasten der eigentlichen Vibrations-Steinformmaschine. Der Füllkasten fährt mehrfach über die Stahlform und füllt sie. Durch Auflast und gleichzeitige Vibration wird das Mischgut so verdichtet, dass nach dem Entformen die frischen Steine eine ausreichende Grünstandfestigkeit haben, um auf den Unterlagsbrettern stehen zu bleiben für den weiteren Transport im Werk.

Bei jedem Pressenhub werden mehrere Steine gleichzeitig produziert (Bild 6). Die frischen Steine werden in modernen Anlagen in geschlossene Trockenkammer eingelagert. Dort herrscht ein feuchtwarmes Klima infolge der frei werdenden Hydratationswärme. Nach einer Verweildauer von 10 bis 24 Stunden haben die Steine etwa 70 % ihrer Nennfestigkeit erreicht.

Je nach Lagerung (Lufthärtung, Wärmebehandlung) erreichen die Mauersteine spätestens im Alter von 28 Tagen ihre Solldruckfestigkeit.

Neben den stationären Fertigern gibt es noch Bodenfertiger, die nach jedem Produktionstakt ein Stück weiterfahren.

Im Gegensatz zu Ziegeln haben Leichtbeton- und Betonsteine einen geschlossenen Deckel, der ein unbeabsichtigtes Füllen der Schlitze und Kammern mit Mörtel verhindert.



Bild 9: Hohlblocksteine auf dem Unterlagsbrett eines stationären Steinfertigers

Mauersteine aus Leicht- und Normalbeton sind nach DIN EN 771-3 [21] genormt und werden nach DIN 20000-3 [22] in den Steinrohrichteklassen 0,45 bis 2,4 und den Druckfestigkeitsklassen 2 bis 48 deklariert.

## 2.3 Merkmale, wichtige Eigenschaften und Anforderungen

### 2.3.1 Rohdichte und Festigkeit

Rohdichten (einschließlich Luftkammern bzw. Schlitzen) und Festigkeiten und die damit zusammenhängenden bauphysikalischen Eigenschaften können durch die Zusammensetzung der Rohstoffe, durch gezieltes Porosieren sowie durch die Anordnung von Hohlräumen (Lochung, Hohlkammern) bei allen Mauersteinarten in bestimmten Grenzen gezielt eingestellt

werden. Dabei ist der Zusammenhang zwischen Rohdichten und Festigkeiten bei allen Mauersteinarten zwar ähnlich aber durchaus mauersteinspezifisch (Bild 7). Details enthalten die deutschen Anwendungsregeln [11, 14, 20, 22].

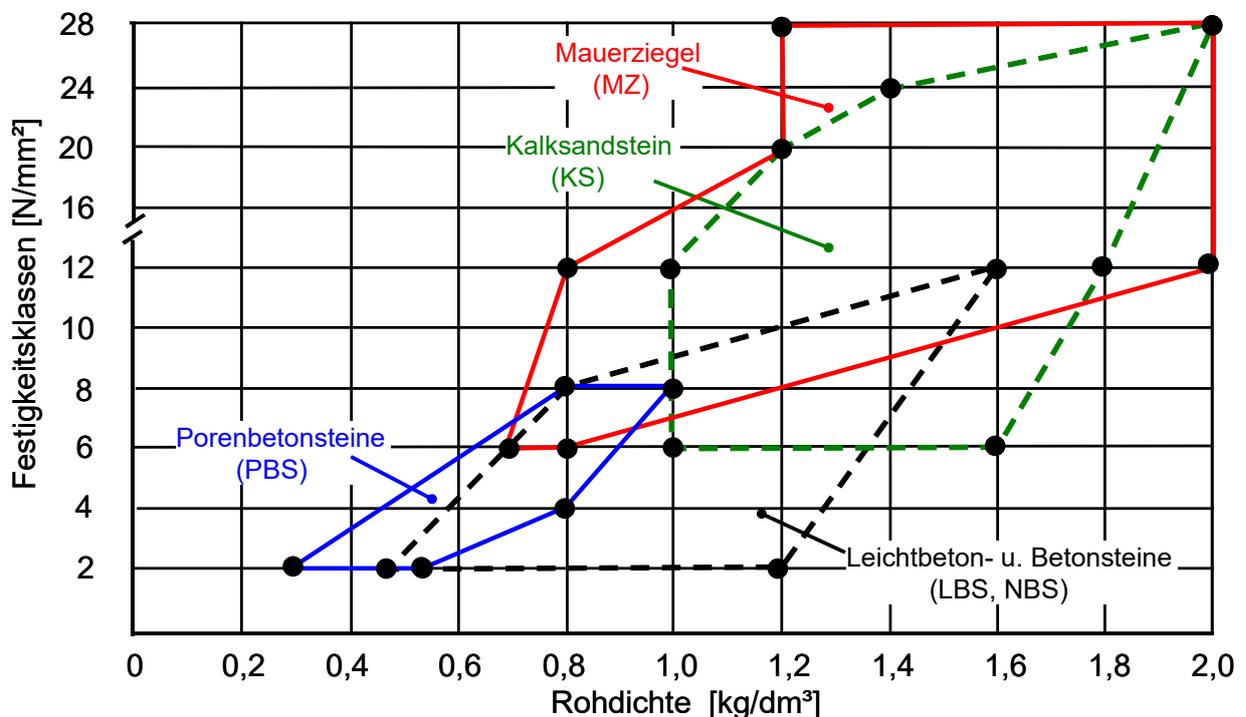


Bild 10: Rohdichte und Festigkeitsklassen der wichtigsten Mauersteine

Die europäische Mauerziegelnorm DIN EN 771-1 [23] unterscheidet zum Beispiel zwischen

- **LD-Ziegel**, d. h.: Mauerziegel mit einer Brutto-Trockenrohddichte  $\leq 1000 \text{ kg/m}^3$  zur Verwendung in geschütztem Mauerwerk.
- **HD-Ziegel**, d. h.:
  - a) alle Mauerziegel zur Verwendung in ungeschütztem Mauerwerk;
  - b) Mauerziegel mit einer Brutto-Trockenrohddichte  $> 1000 \text{ kg/m}^3$  zur Verwendung in geschütztem Mauerwerk.

### 2.3.2 Steingrößen (Formate), Lochungen, Stoßflächenbildung, Maßgenauigkeit

Die europäischen Mauersteinnormen der Reihe DIN EN 771 (DIN EN 771-1 bis DIN EN 771-4) [10, 16, 21, 23] sehen keine festen Formate vor. Die seit Jahrzehnten etablierten deutschen Mauersteinformate leiten sich aus dem Oktametermaß ab und finden sich in der Maßordnung im Hochbauch [24] wieder. Übliche Formate beruht auf der Achtel Teilung eines Meters abzüglich der Fugen (Normal- oder Leichtmauermörtel: Stoßfugen 10 mm, Lagerfugen 12 mm). Standardformate für Mauerwerk mit Normal- und Leichtmauermörtel:

Dünnformat: DF L/B/H = 240/115/52 mm

Normalformat: NF L/B/H = 240/115/71 mm

Vielfache dieser Formate, z.B.: 2DF L/B/H = 240/115/113 mm

Plansteinmauerwerk und großformatiges Elementmauerwerk können von diesen Standardformaten abweichen. Planelemente sind großformatige Vollsteine, welche ebenso wie

Plansteine unter Verwendung von Dünnbettmörtel verarbeitet werden (Stoßfugen knirsch; Lagerfugen 1 – 3 mm). Als Großblöcke werden großformatige Mauersteine aus Leichtbeton bezeichnet, die ebenfalls in Dünnbettvermörtelung ausgeführt werden [25].

Das kleinste Steinformat ist das Format **DF (Dünnformat)** (Länge · Breite · Höhe = 240 mm · 115 mm · 52 mm). Das Format **NF (Normalformat)** (Länge · Breite · Höhe = 240 mm · 115 mm · 71 mm) wird häufig für statistische Zwecke verwendet.

Aus dem Dünnformat sind die meisten größeren Formate unter Bezug auf das Verhältnis der Steinvolumina einschließlich des zugehörigen Fugenanteils abgeleitet, z. B. 2 DF, 5 DF, 10 DF usw. Zusammen mit den Fugen sind die Mauersteinmaße vom metrischen System abgeleitet, das heißt, ein Vielfaches aller Mauersteinmaße ergibt zuzüglich der Mörtelfugen immer ein Vielfaches eines Meters:

$$\begin{aligned} 2 \text{ DF: } & 4 \cdot l = 4 \cdot (240 + 10) = 1000 \text{ mm} \\ & 8 \cdot h = 8 \cdot (113 + 12) = 1000 \text{ mm} \\ 12 \text{ DF: } & 8 \cdot l = 8 \cdot (365 + 10) = 3000 \text{ mm} \\ & 4 \cdot h = 4 \cdot (238 + 12) = 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Durch die unterschiedliche Dicke von Stoßfuge (10 mm) und Lagerfuge (12 mm) ergeben sich bei gleichen Formatbezeichnungen geringfügige Unterschiede in den Steinabmessungen ( $h = 113 \text{ mm}$  bzw.  $b = l = 115 \text{ mm}$ ). Grundsätzlich wird unterschieden zwischen **Steinen** (Höhe  $\leq 113 \text{ mm}$ ), **Blöcken** (Höhe  $> 113 \text{ mm}$  und (meistens)  $\leq 238$  bis  $249 \text{ mm}$ ) und **Elementen** mit größeren Höhen (Längen).

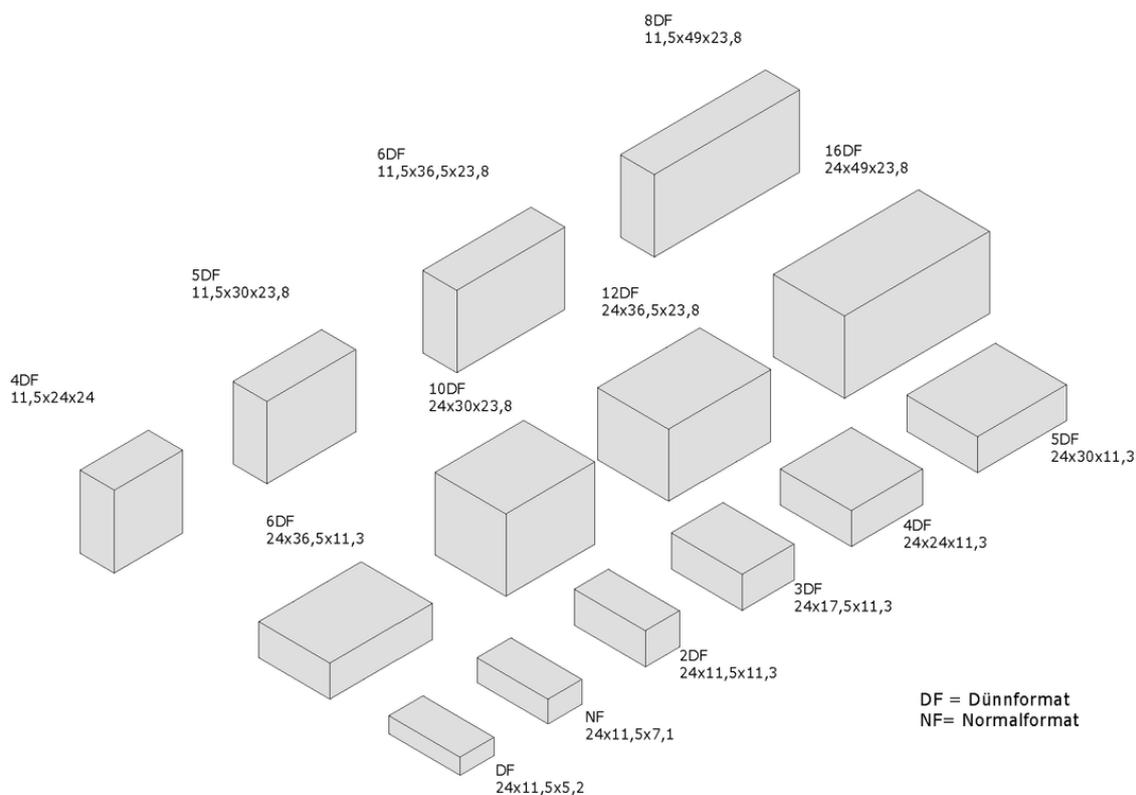


Bild 11: Steinformate [25]

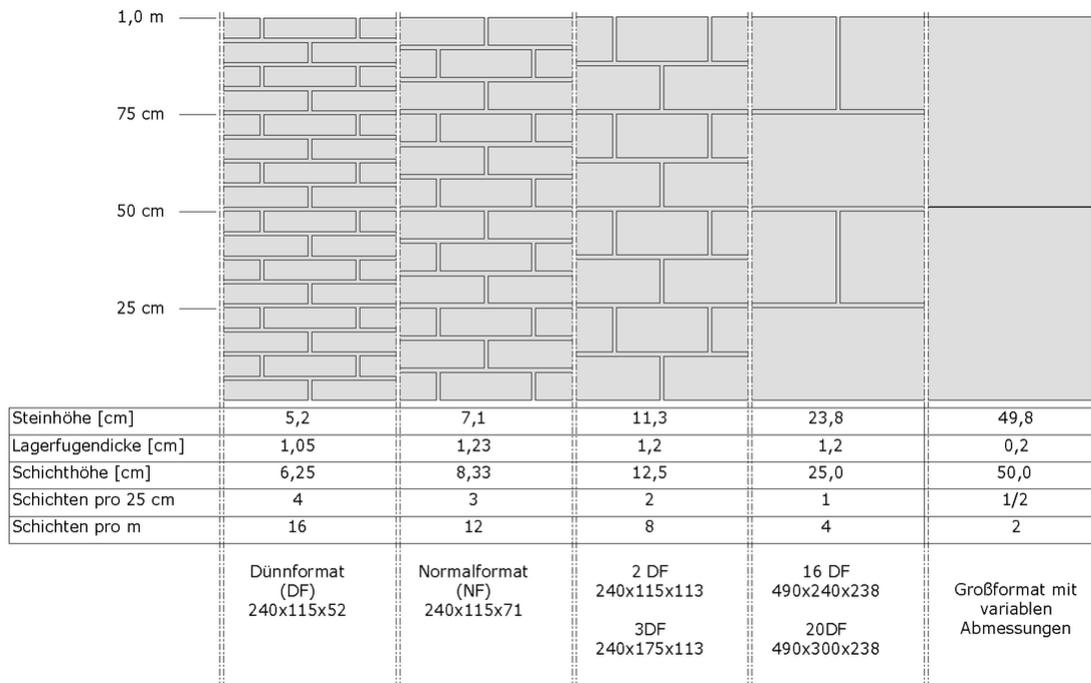


Bild 12: Vergleich unterschiedlicher Steinformate [25]

Die Lochungen dienen entweder der einfacheren, ergonomisch günstigeren Handhabung (Verlegung) der Mauersteine (Grifflöcher, Grifföffnungen, Griffhilfen), der Reduzierung des Gewichts oder der Erhöhung der Wärmedämmung. Hierfür eignen sich besonders schmale, schlitzförmige Lochungen, die gegeneinander versetzt sind, um den Wärmestromweg ohne nennenswerte Konvektion möglichst zu verlängern (technologisch nicht in allen Fällen möglich). Bei größeren Lochungen muss die im Mauerwerk oben liegende Lagerfläche der Steine geschlossen sein (Deckel), damit der Mörtelauftrag möglich ist. Dieser Deckel ist bei Beton- und Leichtbetonsteinen grundsätzlich vorhanden.

Aus Rationalisierungsgründen ist bei den meisten Steinen die Stoßfläche so ausgebildet, dass sie nicht mehr vermörtelt (**Nut und Feder Ausbildung**) werden muss.

In Abhängigkeit von der Vermörtelungsart der Lagerfuge (Normalfuge oder Dünnbettfuge) müssen die Grenzabmaße (Maßtoleranzen) der Mauersteine entsprechend begrenzt werden. Mauersteine für Dünnbettvermörtelung werden **Plansteine** genannt. Die geforderte Maßgenauigkeit in der Steinhöhe beträgt max.  $\pm 1,0$  mm. Zudem darf die Abweichung von der Ebenheit der Lagerfläche nicht mehr als 1,0 mm betragen.

Hinsichtlich des Lochanteils ist bei Ziegeln zu unterscheiden zwischen

- Vollsteinen mit einem Lochanteil von max. 15 % und
- Lochsteinen mit einem max. Lochanteil von 55 %.

Die Bezeichnung der Mauerziegel richtet sich nach [11]. Das nachfolgende Beispiel gilt für einen Hochlochziegels B (HLz) ohne Rohdichteklasse 0,9, der Länge  $l = 490$  mm, der Breite  $b = 240$  mm und der Höhe  $h = 238$  mm (16 DF) für eine Wanddicke von 240 mm (240):

#### Mauerziegel DIN 20000-401 – HLzB 12 – 0,9 – 16 DF 240

Die Bezeichnung der Kalksandsteine richtet sich nach [14]. Das nachfolgende Beispiel gilt für ein Kalksand-Planelement ohne Lochung als werksseitig konfektionierter Bausatz, der

Druckfestigkeitsklasse 20, der Rohdichteklasse 2,0, der Länge  $l = 998$  mm, der Breite  $b = 150$  mm und der Höhe  $h = 498$  mm:

### **Kalksandstein DIN 20000-402-KS XL-PE 20-2,0-998x150x498**

Leichtbetonsteine werden unterteilt in

- Vollsteine (V) bzw. Vollblöcke (Vbl) mit einem Lochanteil von max. 10 % und
- Hohlsteinen bzw. Hohlblöcken (HBl), bei denen sich die Anordnung und Mindestanzahl von Querstegen bei Hohlblöcken richten nach der Steinlänge, der Steinbreite und Kammeranzahl richtet.

Die Bezeichnung der Mauersteine aus Beton mit dichter oder poriger Gesteinskörnung richtet sich nach [22]. Das nachfolgende Beispiel gilt für einen Vollblock aus Leichtbeton mit Schlitzfenstern mit besonderen Wärmedämmeigenschaften (Vbl SW), der Druckfestigkeitsklasse 2, der Rohdichteklasse 0,5, der Länge  $l = 497$  mm, der Breite  $b = 300$  mm, der Höhe  $h = 238$  mm (20 DF) mit Nut und Feder:

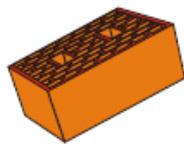
### **Mauerstein DIN 20000-403 - Vbl SW 2 - 0,5 - 20 DF - 497/300/238 - N+F**

Die Bezeichnung der Porenbetonsteine richtet sich ausschließlich nach [22]. Sie sind in Deutschland quasi nur noch als Plansteine auf dem Markt. Das nachfolgende Beispiel gilt für einen Porenbetonplanblock mit Nut und Feder und Griffmulde der Druckfestigkeitsklasse 2, der Rohdichteklasse 0,35, dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 0,09$  W/(mK), der Länge  $l = 499$  mm, der Breite  $b = 365$  mm und der Höhe  $h = 249$  mm:

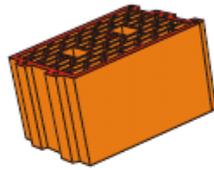
### **Planblock DIN EN 771-4 PP2-0,35 NF-GT (0,09) (499x365x249)**

Die typischen Merkmale der genormten Mauersteine sind in Tabelle 3 zusammenfassend aufgeführt.

## Leichthochlochziegel - HLz

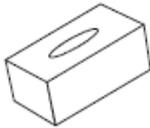


mit Grifföchern

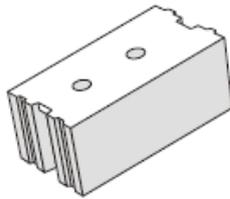


mit Nut und Feder

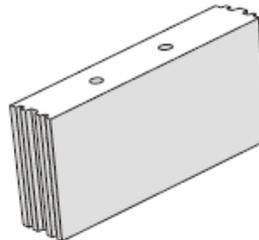
## Kalksandsteine



Vollstein - KS  
mit Griffloch



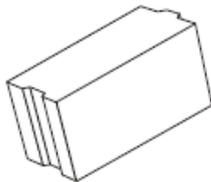
Blockstein - KS



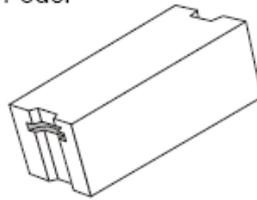
Planelement - KS - PE

## Porenbetonsteine

Plansteine - PP; mit Nut und Feder

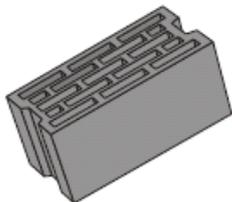


ohne



mit Griffmulde

## Leichtbeton- und Betonsteine



Hohlblock



geschlitzter  
Vollblock mit  
Stirnseitennut

Bild 13: Beispiele der verschiedenen Mauersteinarten [1]

Tabelle 3: Merkmale genormter Mauersteine

Merkmals-Eigenschaften	Mauerziegel	Kalksands-teine	Leichtbeton-steine	Betonsteine	Porenbeton-steine
Zusammensetzung	Lehm, Ton, Wasser, Zusätze	Kalk, Sand, Wasser, Zusätze	hydraulische Bindemittel, leichte und normale Gesteinskörnung, Zusatzstoffe, Zusatzmittel, Wasser		Kalk, Zement, Quarzmehl, Gasbildner, Wasser
Konsistenz der Rohmasse	plastisch	erdfeucht	steif	steif	flüssig
Formgebung	Strang, Schneide-n	Pressen in Steinform-en	Rütteln in Steinform		Schneiden
Härtung	Brennen	Dampfhärtung	Lufthärtung Wärmebehandlung		Dampfhärtung
Vollsteine ( $\leq 15\%$ L)	X	X	X	X	X
Lochsteine	X	X	--	--	--
Voll-, Hohlblöcke	--	X	X	X	Vollblöcke
Elemente	--	X	X	X	X
Formate Maße (L/B/H)	DF bis 20 DF	DF bis 20 DF	DF bis 10DF (V) 6 DF bis 24 DF (Vbl, Hbl)	DF bis 20DF	2 DF bis 749/375/249
Bezeichnung	Mz, HLz, VMz, VHLz	KS, KSL, KSVm, KSVb	Hbl, Hbl-P, V, V-P, Vbl, Vbl S, Vbl SW, Vbl-P, Vbl-S, Vbl-P SW	Hbn, Vbn, Vn, Vm, Vmb	PB, PP

Für die Festlegung mechanischer Eigenschaften des Mauerwerks nach DIN EN 1996-1-1 [2] werden die verschiedenen Mauersteine anhand ihrer geometrischen Eigenschaften gruppiert (Tabelle 4).

Tabelle 4: Geometrische Anforderungen für die Gruppierung von Mauersteinen [2]

	Werkstoffe und Grenzwerte für Mauersteine								
	Gruppe 1S (alle Werkstoffe) <sup>a</sup>	Gruppe 1 (alle Werkstoffe) <sup>a</sup>	Einheiten	Gruppe 2		Gruppe 3		Gruppe 4	
				Vertikale Löcher				Horizontale Löcher	
Volumen aller Löcher (% vom Brutto- volumen)	≤ 5	≤ 25	Ton	> 25; ≤ 55		>25; ≤ 70		> 25; ≤ 70	
			Calcium- silikat	> 25; ≤ 55		nicht verwendet		nicht verwendet	
			Beton <sup>b</sup>	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50	
Volumen eines Lochs (% vom Brutto- volumen)	keine Anforderung	≤ 12,5	Ton	jedes von mehreren Löchern ≤ 2 Grifflöcher bis zu insgesamt 12,5		jedes von mehreren Löchern ≤ 2 Grifflöcher bis zu insgesamt 12,5		jedes von mehreren Löchern ≤ 30	
			Calcium- silikat	jedes von mehreren Löchern ≤ 15 Grifflöcher bis zu insgesamt 30		nicht verwendet		nicht verwendet	
			Beton <sup>b</sup>	jedes von mehreren Löchern ≤ 30 Grifflöcher bis zu insgesamt 30		jedes von mehreren Löchern ≤ 30 Grifflöcher bis zu insgesamt 30		jedes von mehreren Löchern ≤ 25	
				Steg	Schale	Steg	Schale	Steg	Schale
			Ton	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
			Calcium- silikat	≥ 5	≥ 10	nicht verwendet		nicht verwendet	
			Beton <sup>b</sup>	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
deklarerter Wert der kombinierten Dicke von Stegen und Schalen (% der Gesamtbreite)	keine Anforderung	keine Anforderung	Ton	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
			Calcium- silikat	≥ 20		nicht verwendet		nicht verwendet	
			Beton <sup>b</sup>	≥ 18		≥ 15		≥ 45	
<sup>a</sup> Mauersteine der Gruppe 1 und Gruppe 1S dürfen Eindrücke wie etwa Mulden, Grifflöcher oder Rillen in der Lagerfläche enthalten, wenn diese Eindrücke in der fertigen Wand mit Mörtel gefüllt werden sollen.									
<sup>b</sup> Im Fall kegelförmiger oder zellulärer Löcher ist der Mittelwert der Dicke der Stege und Schalen zu verwenden.									

### 3 Mauermörtel

Mit Ausnahme des selten vorkommenden "Trockenmauerwerks" werden die Mauersteine mit Mörtel zu festem Mauerwerk verbunden. Der Mauermörtel beeinflusst verschiedene Eigenschaften des Mauerwerks (Tabelle 4).

Tabelle 5: Einfluss des Mauermörtels auf die Eigenschaften von Mauerwerk [Lit 5]

Anforderung an das Mauerwerk		Zugehörige Eigenschaft des Mauermörtels
Tragfähigkeit	Druckbeanspruchung	Fugendruckfestigkeit
	Zug-, Biegezug- und Schubbeanspruchung	Haftscherfestigkeit
Wärmeschutz		Rohdichte/Wärmeleitfähigkeit
Schallschutz		Rohdichte, Fugendicke
Brandschutz		Eigenschaften der Ausgangsstoffe
Dauerhaftigkeit von Außenwänden		Frostwiderstandsfähigkeit Wasseraufnahmekoeffizient Wasserdampfdurchlässigkeit

#### 3.1 Lieferformen

Mörtel werden entweder werkmäßig mit (**Werk-Frischmörtel**) oder ohne Wasser (**Werk-Trockenmörtel**) vorgemischt auf die Baustelle geliefert. Werk-Trockenmörtel ist ein fertiges, trockenes Gemisch (z. B. in Silos) und muss auf der Baustelle nur noch mit einer vorgegebenen Menge Wasser angemischt werden (Unterbau-Schneckenmischer). Werk-Frischmörtel wird verarbeitungsfähig auf die Baustelle geliefert, ist allerdings nur beschränkte Zeit verarbeitbar. Durch den Einsatz von Verzögerern kann der Erstarrungsbeginn um bis zu 36 Stunden verzögert werden, sodass die Mörtel de facto 2 Tage verarbeitbar sind und auf diese Weise in größeren Mengen (Wirtschaftlichkeit!) auf die Baustelle geliefert werden können. **Werk-Vormörtel** ist vor allem in Norddeutschland verbreitet [25]. Werk-Vormörtel ist ein werkmäßig vorbereitetes Gemisch aus Sand und Kalk sowie ggf. weiteren Zusätzen. Auf der Baustelle müssen Zement und Wasser zugegeben werden. Die erforderliche Zementmenge wird vom Hersteller angegeben. Werk-Vormörtel wird meist im LKW ausgeliefert und auf der Baustelle "abgekippt".

Durch die Entwicklungen bei den Werk-Frisch- und -Trockenmörteln haben auf der Baustelle aus den Einzelkomponenten gemischte Mörtel (**Baustellenmörtel**) nur noch eine untergeordnete Bedeutung. Tabelle 5 fasst die verschiedenen Lieferformen zusammen.

Tabelle 6: Lieferformen von Mörtel

Werkmörtel	Werk-Trockenmörtel
	Werk-Frischmörtel
Werkmäßig hergestellter Mörtel	Werk-Vormörtel
	Werkmäßig vorbereiteter Mörtel (z. B. Mehrkammer-Silomörtel)
Baustellenmörtel	

### 3.2 Mauermörtelarten

Die Mauermörtelarten nach DIN EN 998-2 [26] werden in drei Gruppen eingeteilt, die sich allerdings in ihren Bezeichnungen unterscheiden:

- **Normalmauermörtel (G)** mit Gesteinskörnung mit dichtem Gefüge (Sand nach DIN EN 12620) für übliche Anwendungen (frühere Kurzbezeichnung: **NM**) für Lagerfugen mit 12 mm Solldicke,
- **Dünnbettmörtel (T)** mit maximalem Größtkorn zur Vermauerung von Plansteinen für Fugendicken von ca. 2 mm (frühere Kurzbezeichnung: **DM**) und
- **Leichtmauermörtel (L)** mit maximaler Dichte mit Leichter Gesteinskörnung (Sand nach DIN EN 13055-1) zur Verbesserung der Wärmedämmung von Mauerwerk (frühere Kurzbezeichnung: **LM**) für Lagerfugen mit 12 mm Solldicke.

Anforderungen an die verschiedenen Mauermörtel nach DIN EN 998-2 [26] sind zusammengestellt (Tabelle 6).

Tabelle 7: Anforderungen an Mörtel nach DIN EN 998-2 ([13] nach [26])

Prüfgröße Prüfnorm	Kurz- zeichen	Normalmauer- mörtel (NM)				Leichtmauer- mörtel (LM)		Dünnbett- mörtel (DM)
		Mörtelklasse nach DIN EN 998-2						
		M2,5	M5	M10	M20	M5	M5	M10
Druckfestigkeit DIN EN 1015-11	$\beta_D$ [N/mm <sup>2</sup> ]	2,5	5	10	20	5	5	10
Fugendruckfestigkeit DIN 18555-9	$\beta_{D,F}$ [N/mm <sup>2</sup> ]							
Verfahren I	$\beta_{D,FI}$	1,25	2,5	5,0	10,0	2,5		–
Verfahren II	$\beta_{D,FII}$	2,5	5,0	10,0	20,0	5,0		–
Verfahren III	$\beta_{D,FIII}$	1,75	3,5	7,0	14,0	3,5		–
Druckfestigkeit bei Feuchtlagerung nach (DIN 18555-3)	$\beta_{D,f}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	–	–	–	–	–		≥ 70 % vom Istwert $\beta_D$
Verbundfestigkeit Charakteristische Anfangsscher- festigkeit (Haftscherfestigkeit) <sup>2)</sup> DIN EN 1052-3	$f_{v,0}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,04	0,08	0,10	0,12	0,08		0,20
Haftscherfestigkeit (Mittelwert) DIN 18555-5	$\beta_{HS}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,10	0,20	0,25	0,30	0,20		0,50
Trockenrohdichte <sup>3)</sup> DIN EN 1015-10	$\rho_d$ [kg/m <sup>3</sup> ]	≥ 1.500				≤ 700	≤ 1.000	–
		–				max. Abweichung +10 % vom Istwert		–
Querdehnungsmodul DIN 18555-4	$E_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	–				≥ 7.500	≥ 15.000	–
Längsdehnungsmodul DIN 18555-4	$E_l$ [N/mm <sup>2</sup> ]	–				≥ 2.000	≥ 3.000	–
Wärmeleitfähigkeit DIN EN 1745	$\lambda_{10,tr}$ [W/(m · K)]	–				≤ 0,18 <sup>4)</sup>	≤ 0,27 <sup>4)</sup>	–
Verarbeitbarkeitszeit DIN EN 1015-9	$t_v$ [h]	–				–	–	≥ 4
Korrigierbarkeitszeit DIN EN 1015-9	$t_k$ [min]	–				–	–	≥ 7

Prüfalter für Festmörtel: 28 d; Festigkeiten: Mindestwerte; Normalmauermörtel NMI (M1): Keine Anforderungen

<sup>1)</sup> Für diese gelten die Anforderungen als erfüllt.  
<sup>2)</sup> Prüfung darf ohne Vorbelastung an 5 Prüfkörpern erfolgen:  $f_{v,0} = 0,8 \cdot f_{t0}$   
<sup>3)</sup> Der  $\rho_d$ -Wert bei Erstprüfung ist mit ±10 % Grenzabweichung einzuhalten.  
<sup>4)</sup> Bei Nachweis  $\lambda_{10,tr}$  nach DIN EN 1745 wenn  $\rho_d > 700$  bzw.  $> 1.000$  kg/m<sup>3</sup>

Mauermörtel unterscheiden sich in der Zusammensetzung, Erhärtung und Festigkeitsentwicklung und dem Anwendungsbereich. Eine Übersicht gibt Tabelle 8, genauere Angaben zur Zusammensetzung von Rezeptmörteln nach DIN 1053 (Mauerwerk) erhält Tabelle 9.

Tabelle 8: Zusammensetzung, Erhärtung und Anwendung von Mauermörtel nach DIN EN 992-2 [26]

Mörtelgruppe	Bindemittel	Mischungsverhältnis	Erhärtung		min $\beta_{D28}$ MPa	Anwendung
			Art	Festigkeitsentwicklung		
M1	LK, WK, HK, HHK	1 : 3 1 : 4,6	Karbonatisierung, Wasserbindung	sehr langsam bis langsam		selten
M2,5	(LK, WK, HK) + Z HHK	~ 1 : 3 ~ 1 : 3	i.W. hydraulisch durch Wasserbindung	mittel bis schnell	2,5	„normal“ beanspruchte Bauteile
M5	WK + Z HHK + Z	1 : 3 ~ 1 : 3			5	
M10	Z	1 : 4	Hydraulisch durch (Wasserbildung)	schnell bis sehr schnell	10	örtlich hochbeanspruchte Bauteile, Pfeiler
M20					20	

Tabelle 9: Rezeptmörtel (Normalmörtel) nach DIN EN 992-2 [26]. Mörtelzusammensetzung, Mischungsverhältnisse für Normalmörtel in Raumteilen

Mörtelklasse nach [26]	Luftkalk und Wasserkalk		Hydraulischer Kalk (HK)	Hochhydraulischer Kalk (HHK) Putz und Mauerbinder (PM)	Zement (Z)	Sand <sup>1)</sup> aus natürlichem Gestein
	Kalkteig (LK)	Kalkhydrat (WK)				
M1	1	-	-	-	-	4
	-	1	-	-	-	3
	-	-	1	-	-	3
	-	-	-	1	-	4,5
M2,5	1,5	-	-	-	1	8
	-	2	-	-	1	8
	-	-	2	-	1	8
	-	-	-	1	-	3
M5	-	1	-	-	1	6
	-	-	-	2	1	8
M10	-	-	-	-	1	4
	-	-	-	-	1	4

<sup>1)</sup> Die Werte für Sand beziehen sich auf den lagerfeuchten Zustand.

Die Eigenschaften (Festigkeit) des Mörtels im Mauerwerk ist von einer weiteren Vielzahl von Faktoren abhängig

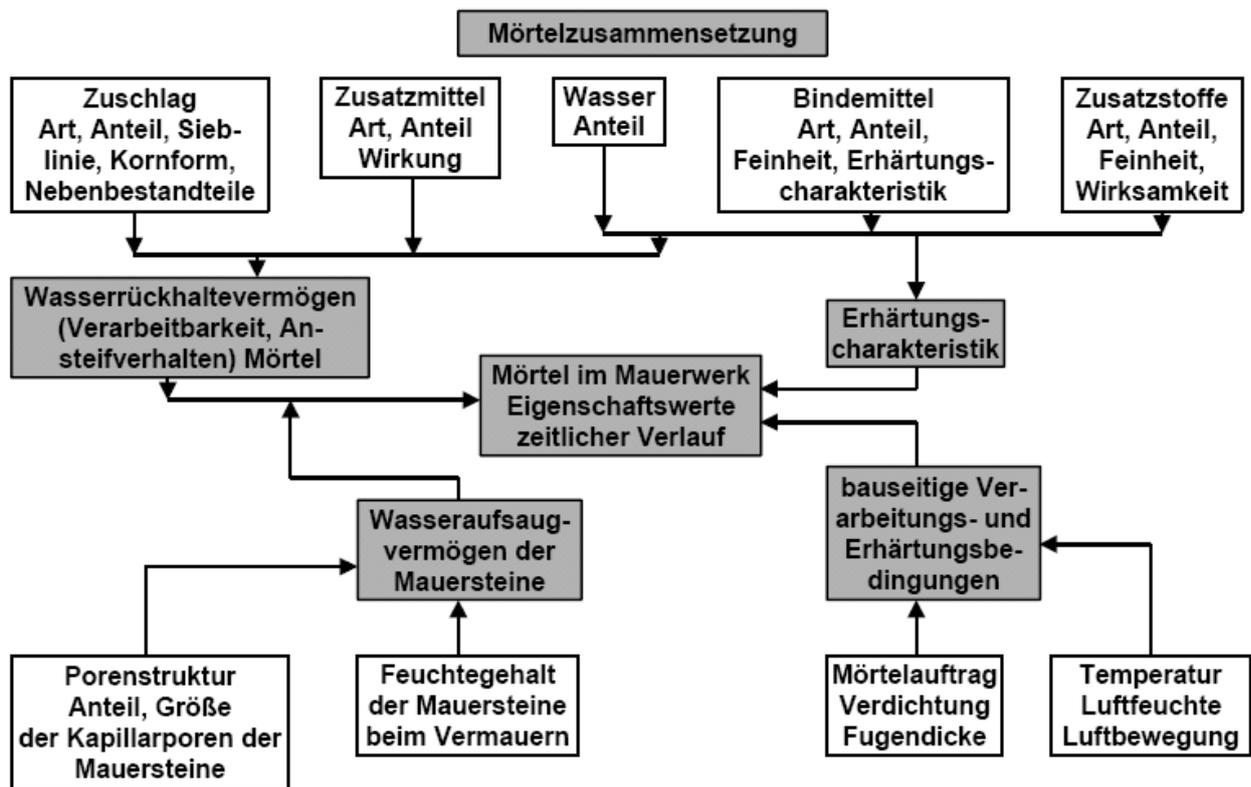


Bild 14: Einflüsse auf die Eigenschaften des Mörtels im Mauerwerk [1]

## 4 Festigkeit und Verformungseigenschaften von Mauerwerk

Die Mauerwerkdruckfestigkeit hängt von der Steinfestigkeit und der Mörtelfestigkeit ab. Wegen der ausgeprägten Heterogenität des Mauerwerkes (Steine + Fugen) ist die Festigkeit des Verbundwerkstoffes Mauerwerk erheblich geringer als die Festigkeit der Einzelkomponenten Stein und Mörtel. Die Querdehnung des Mörtels in der Lagerfuge ist bei Druckbeanspruchung des Mauerwerkes deutlich größer als die Querdehnung der Mauersteine (werkstoffspezifische Eigenschaft des Mörtels). Die Querdehnung wird aber durch die Mauersteine, die mit dem Mörtel verbunden sind, behindert. Diese behinderte Querverformung erzeugt eine Zugbeanspruchung in den Mauersteinen, die letztendlich das Versagen bei einer Druckbeanspruchung des Mauerwerkes auslöst (Bild 11).

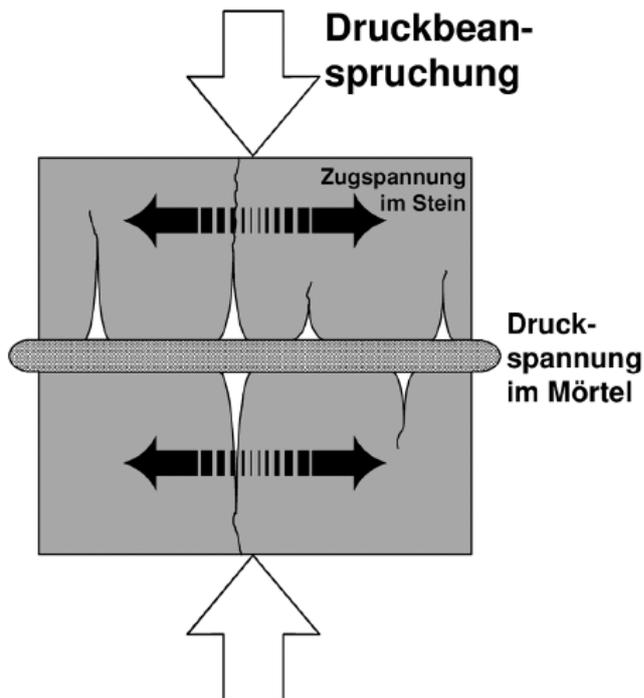


Bild 15: Mauerwerk unter Druckbeanspruchung [27]

Mauerwerk wird anders beansprucht als dies bei seinen Ausgangsstoffen Mauersteine und Mörtel in ihren Einzelprüfung der Falle ist. Daher ist es sehr schwierig, die Mauerwerkfestigkeit aus den Festigkeiten der Ausgangsstoffe vorauszusagen. Die hierfür von vielen Forschern empirisch gewonnenen Beziehungen flossen in die Formeln zu Berechnung der charakteristischen Mauerwerksfestigkeit nach [2] ein. In DIN EN 1996-1-1 [2] finden sich nun folgende Formeln:

Für Mauerwerk aus auf Maß gefertigten Mauersteinen, das mit Normalmörtel errichtet wird, sollte folgend Gleichung angewandt werden:

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,15}$$

Für mit Dünnbettmörtel hergestelltes Mauerwerk in Lagerfugen mit einer Nenndicke von 1 mm bis 3 mm und Ziegel der Gruppe 1 und Gruppe 4, Kalksandstein, Normal- und Leichtbeton, dampfgehärteten Porenbeton und auf Maß gefertigte Natursteine gilt:

$$f_k = K f_b^{0,85}$$

Für mit Dünnbettmörtel hergestelltes Mauerwerk in Lagerfugen mit einer Nenndicke von 1 mm bis 3 mm und Ziegel der Gruppe 2 und Gruppe 3 gilt:

$$f_k = K f_b^{0,7}$$

Dabei ist

- $F_k$  die charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks in N/mm<sup>2</sup>;
- $K$  eine Konstante nach Tabelle 10, die gegebenenfalls nach [2], Abschnitt 5.7.4.1 (2) und/oder Abschnitt 5.7.1.4 (5) zu modifizieren ist;
- $f_b$  die normierte Druckfestigkeit der Mauersteine in Richtung der Auswirkung der angewendeten Einwirkung in N/mm<sup>2</sup>;
- $f_m$  die mittlere Druckfestigkeit des Mörtels in N/mm<sup>2</sup>.

Tabelle 10: Werte für  $K$  zur Anwendung mit Normal-, Dünnbett- und Leichtmörtel [2]

Mauerstein		Normalmörtel	Dünnbettmörtel <sup>a</sup>	Leichtmörtel mit einer Dichte	
				$600 \leq \rho_d \leq 800 \text{ kg/m}^3$	$800 < \rho_d \leq 1300 \text{ kg/m}^3$
Ton	Gruppe 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Gruppe 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Gruppe 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Gruppe 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Calciumsilikat	Gruppe 1	0,55	0,80	‡	‡
	Gruppe 2	0,45	0,65	‡	‡
Zuschlagbeton	Gruppe 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Gruppe 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Gruppe 3	0,40	0,50	‡	‡
	Gruppe 4	0,35	‡	‡	‡
dampfgehärteter Porenbeton	Gruppe 1	0,55	0,80	0,45	0,45
gefertigter Stein	Gruppe 1	0,45	0,75	‡	‡
auf Maß gefertigter Naturstein	Gruppe 1	0,70	0,75	‡	‡

<sup>a</sup> Lagerfuge  $\geq 0,5 \text{ mm}$  und  $\leq 3 \text{ mm}$ .  
<sup>‡</sup> Da diese Kombination aus Mörtel und Mauerstein üblicherweise nicht verwendet wird, ist kein Wert angegeben.

Die verschiedenen Mauersteine haben ein stark unterschiedliches Feuchtedehnverhalten. Mauerziegel schwinden praktisch nicht (sie neigen eher zum Quellen), Kalksandsteine haben Endschwindmaße von etwa 0,2 mm/m, Leichtbetonsteine etwa 0,4 mm/m. Werden unterschiedliche Mauersteine in einem Gebäude verwendet (z. B. Mauerziegel wegen der guten Wärmedämmung für die Außenwände und Kalksandsteine wegen der guten Schalldämmung für die Innenwände), treten durch das unterschiedliche Schwindverhalten Unverträglichkeiten auf, die insbesondere in den oberen Stockwerken von mehrgeschossigen Gebäuden zu schädlicher Rissbildung führen können. Bei Gebäuden mit mehr als 4 Vollgeschossen sollte wegen dieser Rissbildungsfahr kein Mischmauerwerk aus Steinen mit unterschiedlichem Schwindverhalten ausgeführt werden bzw. Rissbildungen muss durch entsprechende konstruktive Maßnahmen begegnet werden.

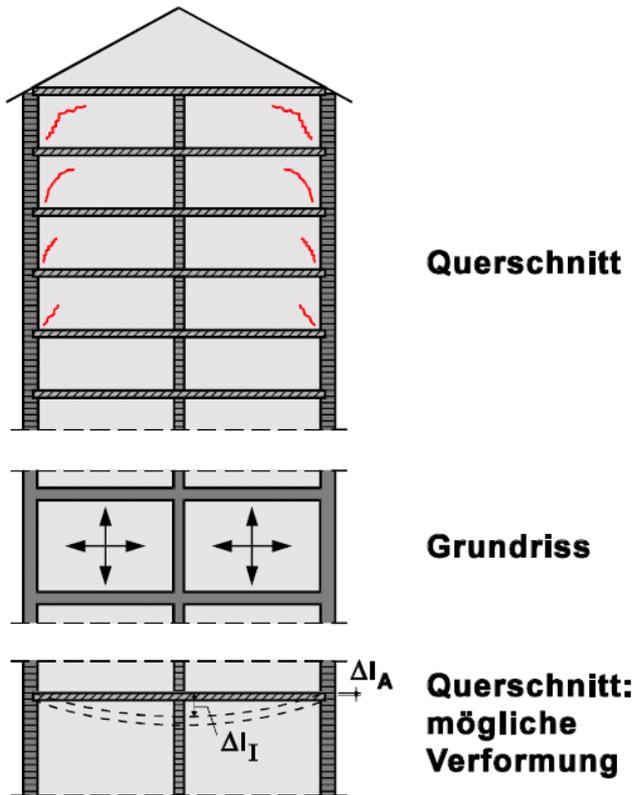


Bild 16: Rissbildung in den Querwänden infolge unterschiedlicher Formänderungen von Innen- und Außenwänden bei Mauerwerksbauten [9]

## 5 Putzmörtel

### 5.1 Einteilung der Putze

Außen- und Innenputze sind in DIN EN 13914-1 und-2 [28, 29] in Verbindung mit DIN 18550-1 und-2 [30, 31] genormt. Für mineralische Putzmörtel kommt neben Kalk und Zement als Bindemittel auch Gips, Anhydrit und Lehm zum Einsatz. Die drei letztgenannten Bindemittel sind wegen ihrer nicht gegebenen Wasserbeständigkeit allerdings nur für Innenputze nach DIN 18550-2 [31] zulässig. Darüber hinaus gibt es organische Putzmörtel auf Basis von ausschließlich Polymerdispersion oder in Kombination mit Kali-Wasserglas oder Silikonharzdispersion [31]. Die Tabelle 11 und Tabelle 12 zeigen die wichtigsten Putzarten mit mineralischen und organischen Bindemitteln für den Außenbereich. Die Tabelle 11 und Tabelle 11 zeigen die wichtigsten Werkmörtel mit Angabe des Hauptbindemittels, der Angabe der Produktnorm und soweit möglich die Druckfestigkeitskategorie für den Innenbereich.

Tabelle 11: Putzarten mit mineralischen Bindemitteln

Bezeichnung	Beschreibung	Typische Kategorie der Druckfestigkeit nach EN 998-1	Anwendungsbeispiele
Mörtel mit Luftkalk	Putzmörtel mit Luftkalk (lufttrocknender Kalk) als Hauptbindemittel	CS I oder geringer	labile Untergründe, Erhaltung historischer Bauwerke
Hydraulischer Kalkmörtel (NHL, HL)	Putzmörtel mit hydraulischem Kalk als Hauptbindemittel	CS I/CS II	Außenbereich, Erhaltung historischer Bauwerke
Kalk- und Zementmörtel	Putzmörtel, der Kalk und Zement enthält	CS II/CS III	Außenbereich, Sockel
Zementmörtel	Putzmörtel mit Zement als hauptsächlichem Bindemittel	CS III/CS IV	Außenbereich (Sockel, Keller, Außenwände)

Tabelle 12: Putzarten mit organischen Bindemitteln

Bezeichnung	Beschreibung	Typische Kategorie der Wasseraufnahme nach EN 15824	Typische Kategorie der Wasserdampfübertragung nach EN 15824	Anwendungsgebiet
Organisch gebundener Silikatputz (Silikatputz)	Putz mit Silikat- und Kunststoffdispersion als Hauptbindemittel	W <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	Außen
Dispersionsputz (Kunstharzputz)	Putz mit Kunststoffdispersion als Hauptbindemittel	W <sub>3</sub>	V <sub>1</sub> bis V <sub>2</sub>	Außen
Silikonharzputz	Putz mit Silikonharz- und Kunststoffdispersion als Hauptbindemittel	W <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	Außen

Tabelle 13: Mineralische Putzmörtel und Putzarten nach DIN 18550-2 [31]

Bezeichnung	Beschreibung	Produktnorm	Druckfestigkeitskategorie	Anwendungsbeispiele	Ehemalige Putzmörtelgruppe
Mörtel mit Luftkalk (CL)	Putzmörtel mit Luftkalk (Kalkhydrat) als Hauptbindemittel	DIN EN 998-1	CS I	Innenbereich, Denkmalpflege	P I
Mörtel mit hydraulischem Kalk (NHL, HL)	Putzmörtel mit Hauptbindemittel hydraulischer Kalk (NHL; HL)	DIN EN 998-1	CS I/CS II	Innenbereich, Denkmalpflege	P I
Kalk-Zementmörtel	Putzmörtel mit Bindemittel Baukalk (Kalkhydrat) und Zement	DIN EN 998-1	CS II/CS III	Innenbereich, Feuchträume	P II
Zementmörtel	Putzmörtel mit Hauptbindemittel Zement	DIN EN 998-1	CS III/CS IV	Innenbereich, Feuchträume	P III
Gips- / Gipskalkmörtel	Putzmörtel, dessen Hauptbindemittel aus Calciumsulfat besteht	DIN EN 13279-1	B1 - B7	Innenbereich, einschließlich häusliche Küchen und Bäder	P IV
Lehmmörtel	Putzmörtel mit Lehm als Bindemittel	DIN 18947	SI/S II	Innenbereich einschließlich häusliche Küchen und Bäder	---

Angegeben sind Beispiele für die Verwendung der beschriebenen Putzmörtelarten. Zugehörige Anwendungsregeln müssen beachtet werden.

Tabelle 14: Organische Putzmörtel und Putzarten nach DIN 18550-2 [31]

Bezeichnung	Beschreibung	Produktnorm	Anwendungsbeispiele	Ehemaliger Putztyp
Dipersions-Silikatputz (Silikatputz)	Putz, der als eigenschafts-bestimmendes Bindemittel Kali-Wasserglas und Polymerdispersion enthält.	DIN EN 15824	Innenbereich	---
Dispersionsputz (Kunstharzputz)	Putz, dessen eigenschaftsbestimmendes Bindemittel aus Polymerdispersion besteht.	DIN EN 15824	Innenbereich	P Org 2
Silikonharzputz	Putz, der als eigenschafts-bestimmendes Bindemittel eine Silikonharzemulsion und Polymerdispersion enthält.	DIN EN 15824	Innenbereich	P Org 2

Für die unterschiedlichen Anwendungen gibt es jeweils spezielle Putze (Bezeichnung nach DIN EN 998-1 [32]):

- GP: Normalputzmörtel
- LW: Leichtputzmörtel
- CR: Edelputzmörtel
- OC: Einlagenputzmörtel für außen
- R: Sanierputzmörtel
- T: Wärmedämmputzmörtel

Die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten und die daraus resultierenden Beanspruchungen stellen unterschiedliche Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Putzmörtel. Für die wichtigsten Eigenschaften gibt es Kategorien (Tabelle 12).

Putze können einlagig (z. B. Gips-Innenputze) oder mehrlagig aufgebracht werden. Eine Putzlage ist in einem Arbeitsgang durch eine oder mehrere Schichten des gleichen Mörtels herzustellen. Spritzbewurf ist keine Putzlage, sondern lediglich eine Vorbereitung des Putzgrundes. Die mittlere Dicke von Putzen bzw. Putzsystemen muss außen 20 mm (mindestens 15 mm) und innen 15 mm (mindestens 10 mm) betragen (Bild 13). Einlagige Innenputze aus Werk-Trockenmörtel erfordern nur eine Dicke von 10 mm (mindestens 5 mm). Einlagige wasserabweisende Putze aus Werkmörtel erfordern als Außenputz nur eine Dicke von 15 mm (mindestens 10 mm). Die Mindestdicken dürfen nur lokal begrenzt auftreten.

Wärmedämmputze werden als Unterputz in Dicken von mindestens 20 mm und höchstens 100 mm ausgeführt. Größere Dicken erfordern besondere Maßnahmen.

Tabelle 15: Klassifizierung der Eigenschaften von Festmörtel nach DIN EN 998-1 [32]

Eigenschaften	Kategorie	Werte
Druckfestigkeit nach 28 Tagen	CS I	0,4 bis 2,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS II	1,5 bis 5,0 N/mm <sup>2</sup>
	CS III	3,5 bis 7,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS IV	≥ 6 N/mm <sup>2</sup>
Kapillare Wasseraufnahme	W <sub>c</sub> 0	Nicht festgelegt
	W <sub>c</sub> 1	$c \leq 0,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5} (\cong 3,10 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
	W <sub>c</sub> 2	$c \leq 0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5} (\cong 1,55 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
Wärmeleitfähigkeit	T 1	≤ 0,1 W/(mK)
	T 2	≤ 0,2 W/(mK)

Tabelle 16: Klassifizierung der Eigenschaften von Putzen mit organischen Bindemitteln nach DIN EN 15824 [33]

Eigenschaften	Kategorie	Werte
Druckfestigkeit nach 28 Tagen	CS I	0,4 bis 2,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS II	1,5 bis 5,0 N/mm <sup>2</sup>
	CS III	3,5 bis 7,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS IV	≥ 6 N/mm <sup>2</sup>
Durchlässigkeitsrate für flüssiges Wasser	W <sub>1</sub>	> 0,5 kg/m <sup>2</sup> · h <sup>0,5</sup>
	W <sub>2</sub>	≤ 0,5 > 0,1 kg/m <sup>2</sup> · h <sup>0,5</sup>
	W <sub>3</sub>	≤ 0,1 kg/m <sup>2</sup> · h <sup>0,5</sup>
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte V, Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s <sub>d</sub>	V <sub>1</sub>	V > 0,5 g/m <sup>2</sup> · d s <sub>d</sub> < 0,14 m
	V <sub>2</sub>	15 > V ≥ 150 g/m <sup>2</sup> · d 0,14 ≥ s <sub>d</sub> < 1,4 m
	V <sub>3</sub>	V ≤ 15 g/m <sup>2</sup> · d s <sub>d</sub> ≥ 0,14 m

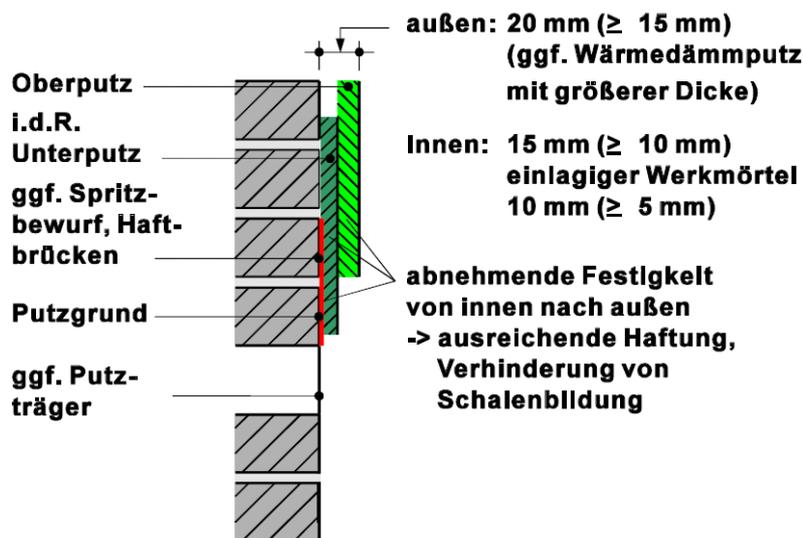


Bild 17: Putzdicken und -aufbau [1]

Für mehrlagigen Putz gilt als Putzregel, dass die Festigkeit der Schichten (beginnend mit dem Putzträger = Mauerwerk) von innen nach außen abnehmen muss. Wird diese Putzregel verletzt, können sehr breite Risse auftreten. Die Rissbildung hängt mit dem relativ starken Schwinden von Kalk- und Zementmörteln zusammen, das beim Austrocknen (das wegen der geringen Schichtdicke relativ rasch verläuft) praktisch immer zur Rissbildung führt. Ist die Festigkeit der darunter liegenden Schicht größer als die der obersten Putzschicht, wirkt sie quasi als Bewehrung für die oberste Schicht, sodass die Risse in sehr kleinem Abstand (ein- bis zweimal der Schichtdicke der reißen obersten Schicht) auftreten und deshalb sehr schmal bleiben. Damit der Mechanismus der feinen Rissverteilung wirken kann, sollte die nächste Schicht immer erst aufgebracht werden, wenn die Rissbildung der letzten Schicht (nach einigen Tagen) weitgehend abgeschlossen ist. Wird die Putzregel verletzt, wird der Rissabstand sehr groß (mehrere Dezimeter) und die Risse werden breiter (Bild 14). Die Rissbreite entspricht etwa dem Produkt aus Schwinddehnung und Rissabstand.

### Schwinddehnung des Putzes $\epsilon_s = 1 \text{ mm/m}$

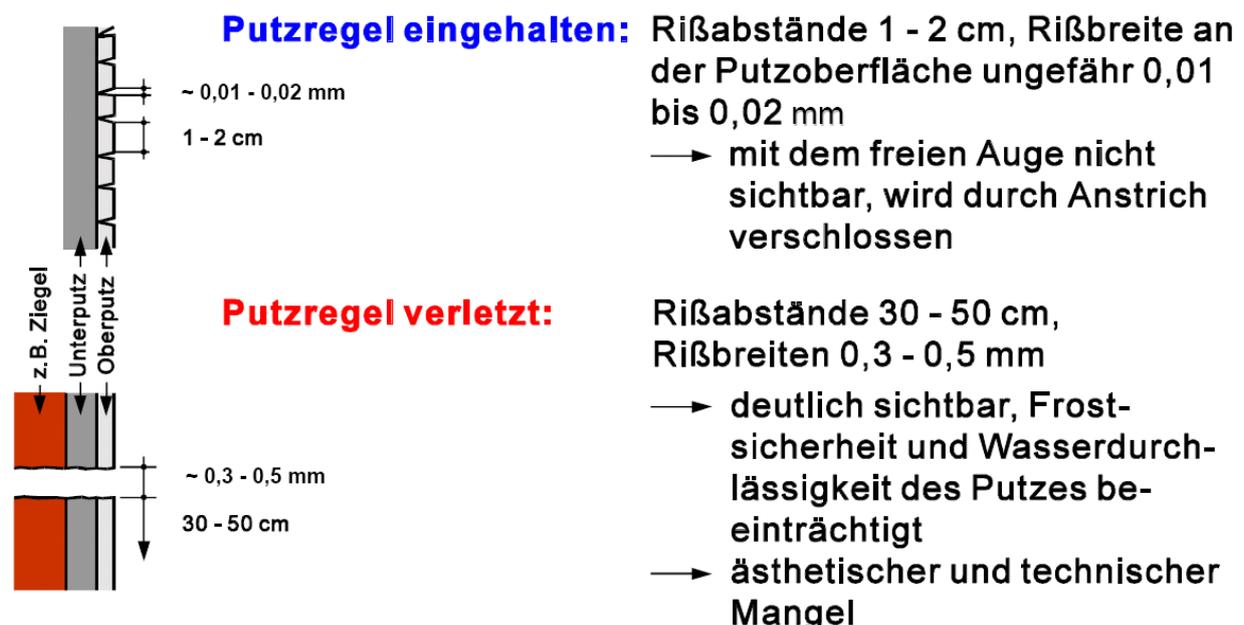


Bild 18: Putzrisse (Beispiel) [1]

Bei Wärmedämmverbundsystemen kann die Putzregel nicht eingehalten werden, da die zunächst aufgetragenen Wärmedämmungen (Mineralwolle, Polystyrol o. Ä.) grundsätzlich sehr geringe Festigkeiten haben. Breite Risse werden bei diesen Systemen durch das Einlegen einer Bewehrung (i. d. R. Glasfasergewebe) verhindert.

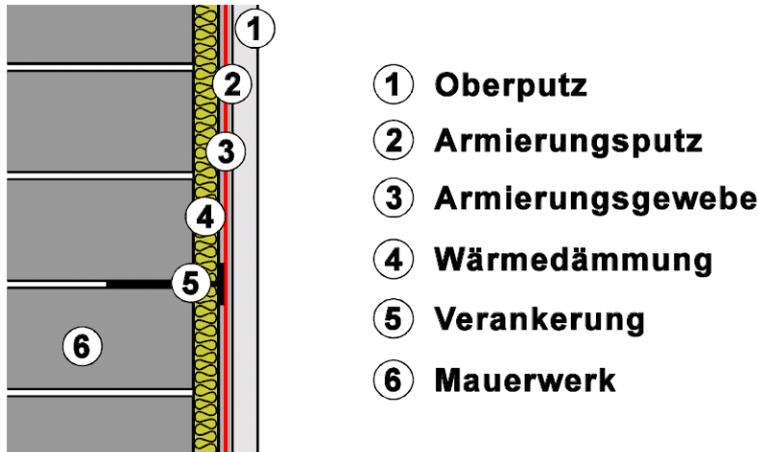


Bild 19: Aufbau eines Wärmedämmverbundsystems [1]

Wenn der Putzgrund ausreichend eben und nicht zu stark saugend ist, kann die erste Putzlage direkt auf den Putzgrund aufgebracht werden. In anderen Fällen sollte zunächst ein Spritzbewurf (i. d. R. Kalk-Zement-Mörtel) aufgebracht werden (Bild 16).

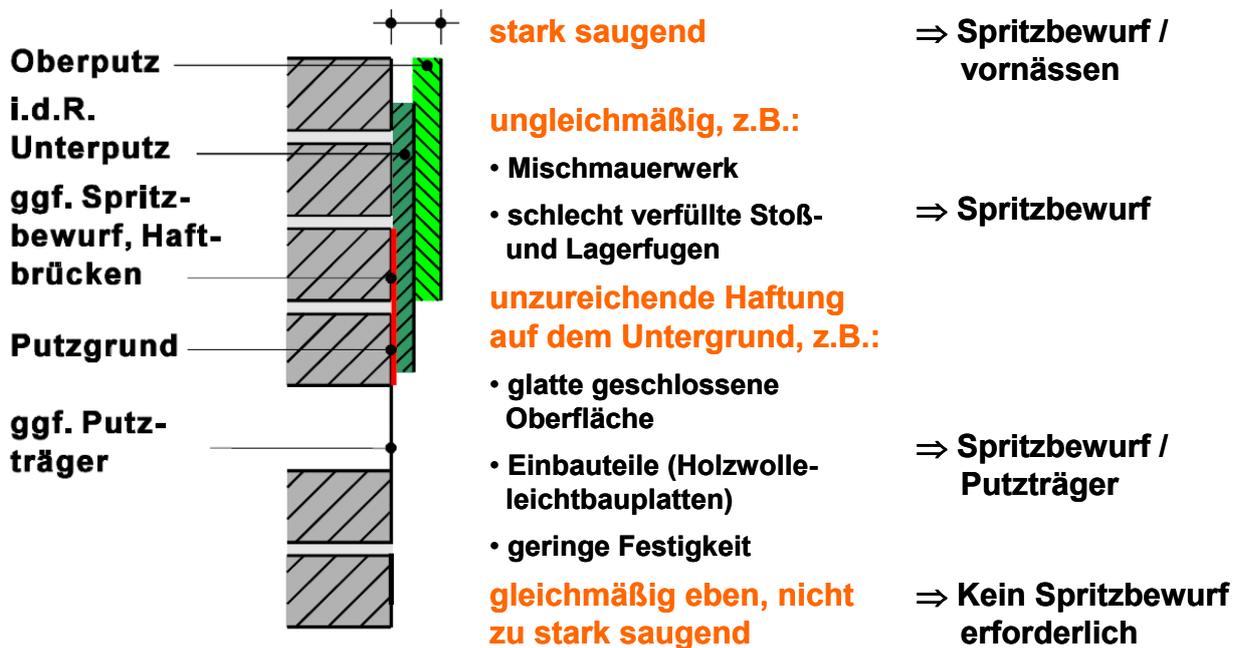


Bild 20: Maßnahmen zum Sicherstellen eines geeigneten Putzgrundes [1]

Bewährte Putzsysteme sind in Tabelle 16, Tabelle 17 und Tabelle 18 angegeben. Darüber hinaus kommen für Sonderputze (z. B. Wärmedämmverbundsysteme) auch andere Zusammensetzungen zum Einsatz.

Tabelle 17: Putzsysteme für Außenputze mit Leichtputz nach DIN EN 998-1 [32]

Anforderung an das Putzsystem	Druckfestigkeitskategorie des Unterputzes <sup>a</sup>	Druckfestigkeitskategorie des Oberputzes
wasserabweisend		CS I
		CS II
	CS II	CS I
	CS II	CS II
	CS II	CS II/CS III <sup>b</sup>
<sup>a</sup> Leichtputze mit organischem Zuschlag mit porigem Gefüge sind außen nur als Unterputze zu verwenden. <sup>b</sup> Wird ein Leichtputz als Sockelputz verwendet, ist er im erdberührten Bereich immer zusätzlich abzudichten.		

Tabelle 18: Putzsysteme für Außenputze nach DIN V 18550:2005:04

Zeile	Anforderung bzw. Putzanwendung	Mörtelgruppe für Unterputz	Druckfestigkeitskategorie des Unterputzes nach DIN EN 998-1	Mörtelgruppe bzw. Beschichtungstoff-Typ für Oberputz	Druckfestigkeitskategorie des Oberputzes nach DIN EN 998-1	
1	ohne besondere Anforderung	–	–	P I	CS I	
2		P I	CS I	P I	CS I	
3 a		–	–	P II	CS II	
3 b		–	–	P II	CS III	
4 a		P II	CS II	P I	CS I	
4 b		P II	CS III	P I	CS I	
5 a		P II	CS II	P II	CS II	
5 b		P II	CS III	P II	CS II	
5 c		P II	CS III	P II	CS III	
6		P II	CS III	P Org 1	–	
7		–	–	P Org 1 <sup>a</sup>	–	
8		–	–	P III	CS IV	
9		wasserhemmend	P I	CS I	P I	CS I
10			–	–	P I	CS I
11 a	–		–	P II	CS II	
11 b	–		–	P II	CS III	
12 a	P II		CS II	P I	CS I	
12 b	P II		CS III	P I	CS I	
13 a	P II		CS II	P II	CS II	
13 b	P II		CS III	P II	CS II	
13 c	P II		CS III	P II	CS III	
14	P II		CS III	P Org 1	–	
15	–		–	P Org 1 <sup>a</sup>	–	
16	–		–	P III	CS IV	
17	wasserabweisend		P I	CS I	P I	CS I
18 a			P II	CS II	P I	CS I
18 b		P II	CS III	P I	CS I	
19		–	–	P I	CS I	
20 a		–	–	P II	CS II	
20 b		–	–	P II	CS III	
21 a		P II	CS II	P II	CS II	
21 b		P II	CS III	P II	CS II	
21 c		P II	CS III	P II	CS III	
22		P II	CS III	P Org 1	–	
23		–	–	P Org 1 <sup>a</sup>	–	
24		–	–	P III	CS IV	
25		Kellerwandaußenputz	–	–	P III <sup>b</sup>	CS IV
26		Außensockelputz	–	–	P III <sup>b</sup>	CS IV
27	P III		CS IV	P III <sup>b</sup>	CS IV	
30	P III		CS IV	P II <sup>b</sup>	CS III	
31	P II		CS III	P II <sup>b</sup>	CS II <sup>c</sup>	
32 <sup>d</sup>	P II		CS II <sup>c</sup>	P II <sup>b</sup>	CS II <sup>c</sup>	

<sup>a</sup> Nur bei Beton mit geschlossenem Gefüge als Putzgrund.  
<sup>b</sup> Ein Sockelputz sowie ein Kellerwandaußenputz sind im erdberührten Bereich immer abzudichten. Der Putz dient als Träger der vertikalen Abdichtung.  
<sup>c</sup> > 2,5 N/mm<sup>2</sup>  
<sup>d</sup> Gilt nur für Sanierputze.

Tabelle 19: Putzsysteme für Innenputze nach DIN V 18550:2005:04

Zeile	Anforderung bzw. Putzanwendung	Mörtelgruppe bzw. Beschichtungstyp für Unterputz	Druckfestigkeitskategorie des Unterputzes nach DIN EN 998-1	Mörtelgruppe bzw. Beschichtungstyp für Oberputz <sup>a</sup>	Druckfestigkeitskategorie des Oberputzes nach DIN EN 998-1
1	übliche Beanspruchung	–	–	P I	CS I
2		P I	CS II	P I	CS I
3		–	–	P II	CS II
4 a		P II	CS II	P I	CS I
4 b		P II	CS II	P II	CS II
4 c		P II	CS II	P IV	b
4 d		P II	CS II	P Org 1	–
4 e		P II	CS II	P Org 2	–
5		–	–	P III	CS IV
6 a		P III	CS III	P I	CS I
6 b		P III	CS III	P II	CS II
6 c		P III	CS IV	P II	CS III
6 d		P III	CS IV	P III	CS IV
6 e		P III	CS III	P Org 1	–
6 f		P III	CS III	P Org 2	–
7		–	–	P IV	b
8 a		P IV	b	P I <sup>d</sup>	CS I
8 b		P IV	b	P II <sup>d</sup>	CS II
8 c		P IV	b	P IV	b
8 d		P IV	b	P Org 1	–
8 e	P IV	b	P Org 2	–	
9 a	–	–	P Org 1 <sup>c</sup>	–	
9 b	–	–	P Org 2 <sup>c</sup>	–	
10	Feuchträume	–	–	P II	CS II
11		P II	CS II	P I <sup>d</sup>	CS I
12 a		P II	CS II	P II	CS II
12 b		P II	CS III	P Org 1	–
13 a		–	–	P III	CS III
13 b		–	–	P III	CS IV
14 a		P III	CS III	P II	CS II
14 b		P III	CS IV	P III	CS IV
14 c		P III	CS III	P Org 1	–
14 d		P III	CS IV	P Org 1	–
15	–	–	P Org 1 <sup>c</sup>	–	

<sup>a</sup> Oberputze dürfen mit abschließender Oberflächengestaltung oder ohne ausgeführt werden (z. B. bei zu beschichtenden Flächen).  
<sup>b</sup> Druckfestigkeit  $\geq 2,0 \text{ N/mm}^2$   
<sup>c</sup> Nur bei Beton mit geschlossenem Gefüge als Putzgrund.  
<sup>d</sup> Dünnlagige Oberputze.

## 6 Literatur

- [1] Schießl, P., *Mauerwerk. Skriptum zur Grundvorlesung in Baustoffkunde*, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung, Editor. 2006: München. p. 31.
- [2] DIN EN 1996-1-1. *Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk (Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures)*. 2013, p. 116.
- [3] DIN EN 1996-1-2. *Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall (Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design)*. 2011, p. 83.
- [4] DIN EN 1996-2. *Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk (Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry)*. 2010, p. 33.
- [5] DIN EN 1996-3. *Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten (Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 3: Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures)*. 2010, p. 39.
- [6] BauInfoConsult, *Wandbaustoffe im Wohnungsbau: Wer liegt vorne?*, in *Pressemitteilungen*. 2018, BauInfoConsult: Düsseldorf.
- [7] Grim, R.E., *Clay mineralogy*. 1968: McGraw-Hill. 596 p.
- [8] Okrusch, M.; Matthes, S., *Mineralogie - Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde*. 8 ed. Springer-Lehrbuch. 2010: Springer Spektrum. XX, 728 p.
- [9] Wesche, K., *Baustoffe für tragende Bauteile - Band 2: Beton, Mauerwerk (Nichtmetallisch-anorganische Stoffe): Herstellung, Eigenschaften, Verwendung, Dauerhaftigkeit*. 3. ed. Vol. 2. 1993, Wiesbaden: Bauverlag. XXII, 502 p.
- [10] DIN EN 771-2. *Festlegungen für Mauersteine - Teil 2: Kalksandsteine (Specification for masonry units – Part 2: Calcium silicate masonry units)*. 2015, p. 45.
- [11] DIN 20000-401. *Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771-1:2015-11 (Part 401: Rules for the application of clay masonry units according to DIN EN 771-1:2015-11)*. 2017, p. 24.
- [12] Vogdt, F.U.; Rich, H., *Foliensammlung zur KS-Maurerfibel*, in *Kalksandstein. Die Maurerfibel*, Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Editor. 2014: Hannover. pp. 48.
- [13] Brechner, K.; Distelmeier, B.; Herz, R.; Meyer, G.; Roschkowski, O.; Rudolph, D.; Schmid, P. and Schulze, H., *KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung*. 6.1 ed. 2015, Hannover: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. 380 p.
- [14] DIN 20000-402. *Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11 (Application of building products in structures – Part 402: Rules for the application of calcium silicate masonry units according to DIN EN 771-2:2015-11)*. 2017, p. 22.
- [15] Homann, M., *Porenbeton Handbuch - Richtig Bauen mit Porenbeton*, ed. Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. 2018, Wiesbaden: AC medienhaus GmbH. 273 p.
- [16] DIN EN 771-4. *Festlegungen für Mauersteine - Teil 4: Porenbetonsteine (Specification for masonry units – Part 4: Autoclaved aerated concrete masonry units)*. 2015, p. 37.

- [17] Kalousek, G.L.; Prebus, A.F., *Crystal Chemistry of Hydrous Calcium Silicates: III, Morphology and Other Properties of Tobermorite and Related Phases*. Journal of the American Ceramic Society, 1958. 41(4): pp. 124-132.
- [18] Kikuma, J.; Tsunashima, M.; Ishikawa, T.; Matsuno, S.; Ogawa, A.; Matsui, K. and Sato, M., *Hydrothermal formation of tobermorite studied by in situ X-ray diffraction under autoclave condition*. Journal of Synchrotron Radiation, 2009. 16: pp. 683-686.
- [19] Schober, G., *Chemical transformations during the manufacturing of autoclaved aerated concrete (ACC): Cement, lime, gypsum and quartz sand become cellular concrete*. ZKG International, 2005. 58(7): pp. 63-70.
- [20] DIN 20000-404. *Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4:2015-11 (Application of building products in structures – Part 404: Rules for the application of autoclaved aerated concrete masonry units according to DIN EN 771-4:2015-11)*. 2018, p. 11.
- [21] DIN EN 771-3. *Festlegungen für Mauersteine - Teil 3: Mauersteine aus Beton (mit dichten und porigen Zuschlägen) (Specification for masonry units – Part 3: Aggregate concrete masonry units (Dense and lightweight aggregates))*. 2015, p. 43.
- [22] DIN 20000-403. *Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 403: Regeln für die Verwendung von Mauersteinen aus Beton (mit dichten und porigen Zuschlägen) nach DIN EN 771-3:2015-11 (Application of building products in structures – Part 403: Rules for the application of aggregate concrete masonry units (dense and lightweight aggregates) according to DIN EN 771-3:2015-11)*. 2018, p. 23.
- [23] DIN EN 771-1. *Festlegungen für Mauersteine - Teil 1: Mauerziegel (Specification for masonry units – Part 1: Clay masonry units)*. 2015, p. 59.
- [24] DIN 4172. *Maßordnung im Hochbau (Modular coordination in building construction)*. 2015, p. 9.
- [25] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. *Lehre zum Mauerwerksbau*. 2020 [cited 2020 2020-04-10]; Available from: <https://www.mauerwerksbau-lehre.de>.
- [26] DIN EN 998-2. *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel (Specification for mortar for masonry – Part 2: Masonry mortar)*. 2017, p. 29.
- [27] Riechers, H.-J., *Mauermörtel*, in *Mauerwerk-Kalender*. 2005, Ernst & Sohn: Berlin. pp. 149-177.
- [28] 13914-1, D.E. *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Außenputze (Design, preparation and application of external rendering and internal plastering – Part 1: External rendering)*. 2005, p. 67.
- [29] 13914-2, D.E. *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Innenputze (Design, preparation and application of external rendering and internal plastering – Part 2: Internal plastering)*. 2016, p. 42.
- [30] DIN 18550-1. *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze (Design, preparation and application of external rendering and internal plastering – Part 1: Supplementary provisions for DIN EN 13914-1:2016-09 for external rendering)*. 2018, p. 22.
- [31] DIN 18550-2. *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze (Design, preparation and application of external rendering and internal plastering – Part 2: Supplementary provisions for DIN EN 13914-2:2016-09 for internal plastering)*. 2018, p. 25.
- [32] DIN EN 998-1. *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel (Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar)*. 2017, p. 26.

- [33] DIN EN 15824. *estlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln (Specifications for external renders and internal plasters based on organic binders)*. 2017, p. 22.