



Kapitel 16

SPEZIELLE ANWENDUNGSBEREICHE

Stand: 08/2025

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Durch die umfangreiche Formatpalette und die breite Spanne der Festigkeits- und Rohdichteklassen des Kalksandsteins bietet KS-Mauerwerk vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Hoch- und Tiefbau. Neben den klassischen Bauaufgaben im

Wohn- und Industriebau ist Kalksandstein aufgrund seiner umweltgerechten Herstellung und seiner spezifischen Eigenschaften auch für besondere Anwendungsbereiche vorzüglich geeignet.

1. Kalksandstein im Erdreich

Seit Jahrzehnten haben sich Fundamentmauerwerke aus Kalksandstein in den deutschen Heide- und Moorgebieten hervorragend bewährt. Der Kalksandstein hat sich im Laufe von mehr als 100 Jahren als solider, dauerhafter Mauerstein für den Fundamentbau etabliert.

Ohne Abdichtung ist KS-Mauerwerk auch dann außerordentlich beständig, wenn es ungeschützt im Erdreich angeordnet wird und wenn es ganz oder teilweise im Grundwasser steht. In einer über 20 Jahre laufenden Versuchsreihe wurde das Verhalten und die Widerstandsfähigkeit von unverputztem KS-Mauerwerk untersucht. Die Versuchswände befanden sich im Grundwasserbereich, in der Wasserwechselzone (Überschwemmungsgebiet) sowie oberhalb des Grundwasserspiegels. Die Auswertungen nach jeweils 2, 5, 10 und 20 Jahren ergaben, dass bei den Wandteilen sowohl unterhalb als auch oberhalb des Grundwasserspiegels die Steindruckfestigkeiten nahezu unverändert hoch blieben. Optische Schäden oder Gefügestörungen sind bei nicht aggressivem Wasser in keinem Fall aufgetreten.

Bei wechselndem Grundwasserstand ist die Beanspruchung deutlich größer als bei konstantem Grundwasserpegel. Neben der optischen Beschaffenheit ist die Steindruckfestigkeit ein wichtiges Hilfsmittel zur Bewertung der Einwirkungen aggressiver Medien. Kalksandsteine hoher Steinrohdichteklassen – Vollsteine – die im Fundamentbereich üblicherweise Verwendung finden, sind deutlich widerstandsfähiger als Lochsteine.

Es bestehen daher keine Bedenken, wenn Kalksandsteine über längere Zeit hin im Erdreich oberhalb oder unterhalb des Grundwasserspiegels eingesetzt werden – vorausgesetzt es liegen keine aggressiven Medien (Wässer bzw. Böden) vor und es werden geeignete Mauermörtel (mind. M 10) verwendet.

Es wird empfohlen:

- Für ungeschütztes Mauerwerk im Erdreich grundsätzlich KS-Vollsteine der Festigkeitsklasse ≥ 20 einzusetzen und
- im Frostbereich frostwiderstandsfähige KS-Vollsteine zu verwenden.

Keller werden seit fast 100 Jahren aus Kalksandstein gebaut. Im Laufe der Zeit haben sich die Anforderungen an die Abdichtung von Kellerräumen in Folge der höherwertigeren Nutzung geändert. Die Anordnung der Abdichtung auf der Erdseite ist daher heute allgemein üblich und stellt die Regel der Technik dar.

2. Kabelabdeckungen

Die Verwendungsfähigkeit von Mauersteinen für die Abdeckung von Hoch- und Niederspannungskabeln im Erdreich hängt wesentlich davon ab, ob aus den Steinen durch in das Erdreich eindringende Feuchtigkeit Salze herausgelöst werden, die auf Blei bzw. Aluminium angreifend wirken. In einer umfangreichen Versuchsreihe der Materialprüfanstalt Berlin-Dahlem wurden zur Absicherung vorliegender guter Erfahrungen mit Kalksandstein Langzeit-Prüfungen zur Untersuchung dieser Kriterien durchgeführt. Es wurden Blei- und Aluminiumbleche bis zu einer Versuchsdauer von einem Jahr Lösungen ausgesetzt, die aus Kalksandstein unter Feuchteinwirkung (z.B. Regen) wasserlösliche Stoffe transportierten. Selbst unter den besonders

starken Korrosionsbeanspruchungen der Auslaugungsversuche im Feuchtelagergerät mit erheblichem Temperaturwechsel und starker Tauwasserbildung auf den Proben erfolgten keine stärkeren Abtragungen oder örtliche Anfressungen an Blei und Aluminium. Die Lebensdauer von Kabelmänteln oder dergleichen aus diesen Metallen wird nicht herabgesetzt, so dass Kabelabdeckungen aus Kalksandsteinen besonders geeignet sind. Für diese Zwecke sind seit Jahrzehnten von der Deutschen Post und von Versorgungsunternehmen überall im Land Kalksandsteine mit Erfolg eingesetzt worden, vorzugsweise als KS-Vollsteine im Format DF/NF.

3. Aggressive Medien

Wässer und Böden können Mauerwerk und Beton angreifen, wenn sie freie Säuren, Sulfide (Salze des Schwefelwasserstoffes), Sulfate (Salze der Schwefelsäure), bestimmte Magnesiumsalze (Magnesiumsulfat und Magnesiumchlorid), Ammoniumsalze und bestimmte organische Verbindungen (Fette, Öle) enthalten [1].

Darüber hinaus wirken Wässer angreifend, wenn sie besonders weich sind. Die Wasserhärte wird nach DIN 38409-6 [2] angegeben. Neben der alt hergebrachten Bezeichnung °dH (Grad Deutsche Härte) hat sich mittlerweile der Anteil an Erdalkalien bzw. Calciumcarbonat in mmol/l durchgesetzt (Tafel 1).

Hartes Wasser enthält größere Mengen an Erdalkalisalzen, vorwiegend gelöste Ca- und Mg-Salze. Weiches Wasser enthält wenig Erdalkalisalze.

Alle weichen Wässer enthalten freie Kohlensäure, da diese das in der Luft enthaltene Kohlendioxid (CO_2) zu freier Kohlensäure (H_2CO_3) binden, sie reagieren daher sauer mit pH-Werten von 4,8 bis 5.

Der pH-Wert ist die Größe, die die Azidität (Säuregehalt) oder die Alkalität (Laugengehalt) eines Mediums beschreibt.

- pH < 7 sauer
- pH = 7 neutral
- pH > 7 basisch (alkalisch)

Saure Wässer, d.h. Wässer mit freien Säuren – pH < 7 –, greifen Mauerwerk und Beton an.

Auch Gase können in Verbindung mit Feuchtigkeit Mauerwerk und Beton angreifen, wenn sie Schwefelwasserstoff oder Schwefeldioxid enthalten. Schwefelwasserstoff kommt insbesondere in Faulgasen (Kanalanlagen) vor, Schwefeldioxid insbesondere in Rauchgasen. Beide Gase werden bei gleichzeitiger Anwesenheit von Feuchtigkeit und Luft zu Schwefelsäure oxidiert, es kommt zu entsprechenden Schädigungsreaktionen.

Grundwasser enthält oft kalklösende Kohlensäure, Sulfat, Magnesium, Schwefelwasserstoff und Ammonium. Angreifende organische Verbindungen kommen in höherer Konzentration nur in solchen Gewässern vor, die durch Abwässer verunreinigt sind. Zur Beurteilung des aggressiven Charakters eines Baugrundes genügt im Allgemeinen die Prüfung von Wasserproben. Äußere Merkmale angreifender Wässer sind häufig: dunkle Färbung, Ausscheidung von Gips und anderen Kristallen, fauliger Geruch, Aufsteigen von Gasblasen sowie saure Reaktion (Rottfärbung von blauem Lackmuspapier). Die chemische Wasseranalyse ist die sicherste Methode, angreifende Bestandteile festzustellen. Sie sollte bei der Errichtung von Bauwerken im Grundwasserbereich immer durchgeführt werden.

Tafel 1 Einteilung der Wasserhärte nach dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz

Härtebereich	[°dH]	[mmol/l]
weich	0 – 8,4	0 – 1,5
mittelhart	8,4 – 14,0	1,5 – 2,5
hart	> 14,0	> 2,5

Bei der Untersuchung von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung werden nach DIN 4030 die folgenden Werte/Eigenschaften bestimmt:

- pH-Wert
- Geruch
- Kaliumpermanganatverbrauch
- Gesamthärte
- Carbonathärte
- Magnesium
- Ammonium
- Sulfat
- Chlorid
- Kalklösende Kohlensäure

Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Böden und Wässern nach DIN 4030 enthält Tafel 2.

Bei stark und sehr stark angreifenden Wässern und Böden ist das Mauerwerk entsprechend zu schützen. Seewasser aus Nord- und Ostsee ist als stark bis sehr stark angreifend einzustufen. Nicht zuletzt wirkt sich der hohe Chloridgehalt negativ aus.

Tafel 2 Grenzwerte / Angriffsgrad von Böden und Wässern nach DIN 4030

	Angriffsgrad		
	schwach	stark	sehr stark
pH-Wert	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	< 4,5
Kalklösende Kohlensäure (Heyer-Versuch) [mg CO_2 /l]	15 – 40	40 – 100	> 100
Ammonium-Ionen [NH_4^+ /l]	15 – 30	30 – 60	> 60
Magnesium-Ionen [Mg^{2+} /l]	300 – 1.000	1.000 – 3.000	> 3.000
Sulfat-Ionen [SO_4^{2-} /l]	200 – 600	600 – 3.000	> 3.000

4. Strahlenschutz in Gebäuden

Der vorbeugende Schutz vor technisch erzeugter Strahlung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Gerade die Tatsache, dass Gefährdungspotenziale und Risiken für den Menschen noch nicht ausreichend wissenschaftlich erforscht sind, führt zu Unsicherheit und ist gleichzeitig Anlass für die Entwicklung von Schutzmaßnahmen.

Der Strahlenschutz in Gebäuden dient in der Regel dem Schutz vor elektromagnetischen Wellen oder gar dem Schutz vor radioaktiver Strahlung.

4.1 Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum (Tafel 3) umfasst die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen. Maßeinheit für die Frequenz ist Hertz. 1 Hertz = 1 Schwingung pro Sekunde. Der Bereich unterhalb 30.000 Hertz wird als niederfrequentes Feld bezeichnet, oberhalb 30.000 Hertz als hochfrequentes Feld. Das hochfrequente Feld wird weiter unterteilt in nicht ionisierende Strahlung und ionisierende Strahlung (i.W. radioaktive Strahlung). Zur hochfrequenten nicht ionisierenden Strahlung sind auch infrarote und ultraviolette Strahlung zu zählen.

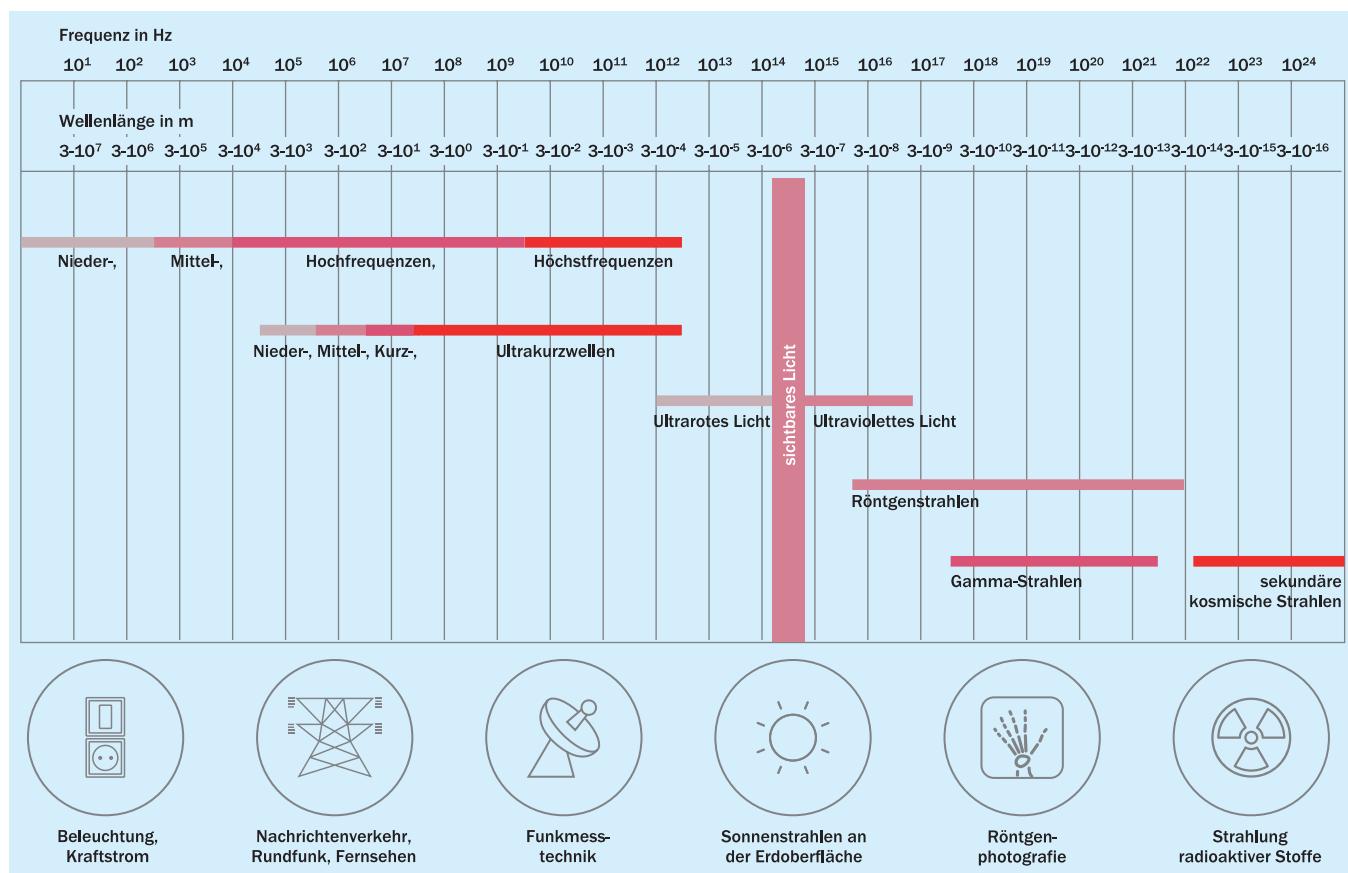
Das Zeitalter der Kommunikation führt zu dem immer stärkeren Wunsch, den Datentransfer jederzeit, überall und in unbeschränkter Menge durchzuführen. Die extremen Zuwachsraten im Mobilfunk haben bis 2024 zu mehr als 200 Millionen Mobilfunkanschlüsse in Deutschland geführt [3]. Kabellose Geräte im Bereich der Bürokommunikation, aber auch im modernen Haushalt finden sich immer häufiger.

Die Funktionstüchtigkeit dieser Geräte wie z.B. W-LAN Router oder Bluetooth hängt vom ungestörten Senden und Empfangen des Signals ab. Im Bereich der Medizintechnik sowie in sensiblen Bereichen der Datenverarbeitung wird dagegen bewusst auf abschirmende Wirkung der raumumschließenden Bauteile gesetzt. In diesen Bereichen kann bei unzureichender Abschirmung, der Betrieb dieser Anlagen durch „fremde Wellen“ gestört werden.

4.2 Elektromagnetische Strahlung

Die elektromagnetischen Felder werden anhand ihrer Frequenz, Feldstärke und Signalform in eine Reihe von Haupt- und Unterbereichen eingeteilt. Von besonderer Relevanz ist dabei der Be-

Tafel 3 Das elektromagnetische Spektrum



reich von etwa 10 kHz bis ca. 300 GHz, da er u.a. die Betriebsfrequenzen von Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk und Radar umfasst.

Untersuchungen von Prof. Dr.-Ing. Pauli [4] für Kalksandsteine der RDK 1,8 zeigen, dass für typische Mobilfunkfrequenzen (GSM 900 / GSM 1800, DECT, UMTS) bereits bei einer Wanddicke von 17,5 cm eine Schirmdämpfung von 40 bzw. 70 % erreicht wird. Je höher die Schirmdämpfung ist, desto höher ist die Schutzwirkung. KS-Mauerwerk mit WDVS hat eine deutlich höhere Schirmdämpfung von bis zu 99 %, wenn im Außenputz des KS-Mauerwerks mit WDVS ein elektromagnetisch wirksames Armierungsgewebe verwendet wird.

Bei Verwendung von Kalksandsteinen mit speziellen Zuschlägen wird die Schirmdämpfung auf über 99,99 % gesteigert. Dies bedeutet, dass z.B. das Telefonieren im D1- oder D2-Netz (ca. 900 MHz) in einem Raum aus diesem Material nahezu unmöglich ist, wenn keine Fenster- oder Türöffnungen vorhanden sind. Damit bieten sich nicht nur Anwendungsgebiete zum Schutz des Menschen, sondern auch im Bereich der Datenverarbeitung und der Abhörsicherheit von Gebäuden.

INFO

Eine einfache Rechenhilfe zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke nach DIN 6812 [5] steht auf der KS-Homepage zum Download bereit.

4.3 Radioaktive Strahlung

Der Schutz vor radioaktiver Strahlung ist besonders im Bereich der Medizintechnik relevant. Für den baulichen Strahlenschutz ist die DIN 6812 [6] zu beachten. Die Bemessung der erforderlichen Abschirmung (Bleischichtdicke) erfolgt in Abhängigkeit von der Nutzstrahlung, der Kategorie des Raums sowie dem Abstand zwischen Brennfleck und zu schützendem Aufenthaltsraum je nach Geräteleistung.

Die abschirmende Wirkung anderer Stoffe als Blei wird als äquivalente Bleischichtdicke angegeben. Die äquivalente Bleischichtdicke sagt aus, wie dick eine Schutzschicht aus einem anderen Baustoff, z.B. aus Kalksandstein, sein muss, um die gleiche Abschirmwirkung zu erreichen.

INFO

Die äquivalente Bleischichtdicke ist am homogenen Querschnitt zu ermitteln. Der Einsatz von KS-Vollsteinen ist deshalb grundsätzlich zu empfehlen. Da Vollsteine nach DIN V 20000-402 einen Lochanteil von bis zu 15 % der Lagerfläche aufweisen dürfen, wird empfohlen, das Lochbild konkret festzulegen. Eventuelle Grifftaschen und Dollenlöcher sind zu verfüllen, Stoßfugen zu vermörteln.

Die erforderliche Dicke wird nach Gleichung (1) der DIN 6812 ermittelt. Eventuell vorhandene Bausubstanz darf bei der Bestimmung der Abschirmung berücksichtigt werden. Die „äquivalente Bleischichtdicke“ ist abhängig von der Rohdichte und Dicke des Baustoffes sowie der maximalen Röhrenspannung.

$$x_m = a \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^b \cdot \left(\frac{U}{U_0} \right)^c \cdot \left(\frac{x}{x_0} \right)^d$$

mit:

- x_m Äquivalente Bleischichtdicke [mm]
- a, b, c, d als Konstanten entsprechend Tafel 4
- ρ Dichte des Materials [kg/dm^3]
- ρ_0 1 [g/cm^3]
- U Röhrenspannung [kV]
- U_0 100 [kV]
- x Schutzschichtdicke aus Blei [mm]
- x_0 1 [mm]

Beispiel:

- Erforderliche Bleischichtdicke = 0,5 mm (ermittelt nach DIN 6812)
- Röhrenspannung = 80 kV, z.B. dentales Feraufnahmegerät
- Kalksandstein der Rohdichteklasse 2,0 (Rohdichte = 1,81 bis 2,0 kg/dm^3 , angesetzt: $\rho = 1,81 \text{ kg}/\text{dm}^3$)

$$x_m = 192 \cdot \left(\frac{1,81}{1} \right)^{-0,83} \cdot \left(\frac{80}{100} \right)^{-0,70} \cdot \left(\frac{0,5}{1} \right)^{1,1}$$

$$x_m = 64 \text{ mm}$$

Gewählt: KS-Bauplatte, $d = 70 \text{ mm}$.

Tafel 4 Konstanten zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke [mm] nach DIN 6812, Tabelle 17 [6]

Röhrenspannungsbereich	< 100 kV		100 bis 175 kV		175 bis 200 kV		> 200 kV	
Dichte des Schwächungsmaterials [kg/dm^3]	< 3,2	$\geq 3,2$	< 3,2	$\geq 3,2$	< 3,2	$\geq 3,2$	< 3,2	$\geq 3,2$
a	192	–	192	10,5	290	9,3	290	25
b	-0,83	–	-0,95	-0,20	-0,95	-0,22	-0,95	-0,20
c	-0,70	–	0,69	1,85	-0,53	1,31	-0,50	0,00
d	1,1	–	0,82	0,90	0,75	0,96	0,70	0,87

Tafel 5 Schutzschichtdicken bei Mauerwerk aus Kalksandstein (RDK 2,0) [mm] ermittelt nach Gleichung (1) der DIN 6812 [6]

Baustoff/Dichte	Dicke der Schutzschicht Blei [mm]	Äquivalente Schichtdicke aus Kalksandstein [mm] bei maximaler Röhrenspannung [kV]					
		50	100	150	200	250 ¹⁾	300 ¹⁾
Kalksandstein RDK 2,0; ange- setzt wird der un- tere Grenzwert von $\rho = 1,81 \text{ kg}/\text{dm}^3$.	0,5	83	58	76	69	65	59
	1	177	102	134	115	105	96
	2	–	179	237	194	171	156
	3	–	250	330	262	227	207
	4	–	316	–	325	277	253
	5	–	–	–	–	324	296

¹⁾ Für Störstrahlung sind die Werte für 200 kV maßgebend.

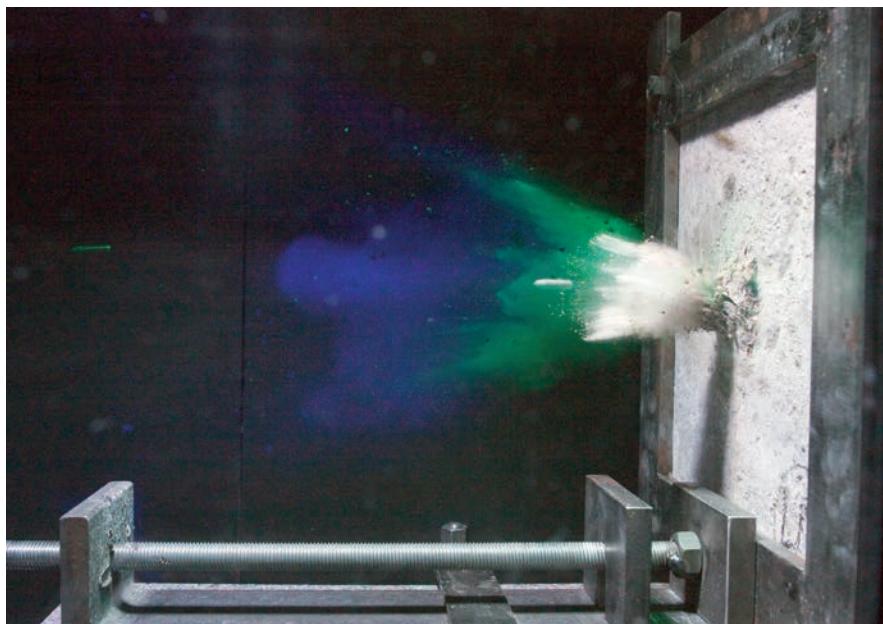
5. Beschuss sicherheit

In sicherheitsrelevanten Bereichen von Gebäuden, wie Sparkassen und Banken, Militärgebäuden, Verwaltungsgebäuden u.a., werden an die einzelnen Bauteile hohe Anforderungen bzgl. der Beschuss sicherheit gestellt. Die Grundlage für den Einsatz von Kalksandstein in diesen Gebäuden schaffen Untersuchungen zur Beschuss sicherheit von KS-Wänden vom Beschuss-Amt Ulm [7].

Die Prüfungen erfolgten nach den Prüfungsbedingungen für den Beschuss angriffshemmender Stoffe des Landeskriminalamtes

Baden-Württemberg. Dabei werden nach DIN EN 1522 [8] sieben Beanspruchungsarten für die Beschussprüfungen zugrunde gelegt. Durch die Beurteilung des Beschussbildes auf der Rückseite der Prüfwand: kein Durchschuss in Verbindung mit „Splitterabgang (S)“ oder „kein Splitterabgang (NS)“ ergeben sich 14 Widerstandsklassen:

- FB1 NS bis FB7 NS
- FB1 S bis FB7 S



Die Ergebnisse der Beschussprüfungen sind in Tafel 6 wiedergegeben. Für KS-Mauerwerk der RDK 2,0 in Dünnbettmörtel, ohne Putz, ohne Stoßfugenvermörtelung wurden die folgenden Beschussklassen erreicht:

- FB1 NS bis FB4 NS mit 11,5 cm
- FB5 NS und FB6 NS mit 15 cm
- FB7 NS mit 24 cm

Somit können in Bereichen, in denen hohe Anforderungen an die Beschuss-Sicherheit gestellt werden, wirtschaftliche und schlanke Wandkonstruktionen aus Kalksandstein eingesetzt werden. Zum Nachweis liegen beim Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. Prüfzeugnisse vor.

Tafel 6 Beschuss-Widerstandsklassen von unverputzten KS-Wänden

Klasse	Art der Waffe	Kaliber	Munition Art	Masse [g]	Beschussbedingungen Prüfentfernung [m]	Geschoss- geschwindigkeit [m/s]	Erforderliche Wanddicke aus KS, RDK 2,0 in Dünnbettmörtel [cm]
FB1	Büchse	22 LR	L ⁽¹⁾ /RN	2,6 ± 0,1	10 ± 0,5	360 ± 10	11,5
FB2	Faustfeuer- waffe	9 mm Para	FJ ⁽²⁾ /RN/SC	8,0 ± 0,1	5 ± 0,5	400 ± 10	11,5
FB3	Faustfeuer- waffe	0,357 magnum	FJ ⁽³⁾ /CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
FB4	Faustfeuer- waffe	0,357 magnum	FJ ⁽³⁾ /CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
	Faustfeuer- waffe	0,44 magnum	FJ ⁽³⁾ /FN/SC	15,6 ± 0,1	5 ± 0,5	440 ± 10	11,5
FB5	Büchse	5,56 · 45	FJ ⁽³⁾ /PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10	15
FB6	Büchse	5,56 · 45	FJ ⁽³⁾ /PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10	15
	Büchse	7,62 · 51	FJ ⁽²⁾ /PB/SC	9,5 ± 0,1	10 ± 0,5	830 ± 10	15
FB7	Büchse	7,62 · 51	FJ ⁽³⁾ /PB/HC1	9,8 ± 0,1	10 ± 0,5	830 ± 10	24

L⁽¹⁾ – Blei, kupferbeschichtet
 FJ⁽²⁾ – Vollmantel, Stahl
 FJ⁽³⁾ – Vollmantel, Kupfer
 L – Blei
 CB – Kegelspitzkopf
 FJ – Vollmantel

FN – Flachkopf
 HC1 – Stahlhartkern, Masse 3,7 g ± 0,1, Härte mind. 63 HRC
 PB – Spritzkopf-Geschoss
 RN – Rundkopf
 SC – Weichkern mit Blei
 SCP1 – Weichkern mit Blei und Stahlpenetrator (Typ SS 109)

6. Mauern im Winterhalbjahr und Absäuern des Mauerwerks

Bei ungeeigneten Witterungsbedingungen wie z.B. Frost dürfen Mauerarbeiten nur **in Abstimmung mit dem Auftraggeber** und bei der Ergreifung besonderer Maßnahmen durchgeführt werden (VOB-C:DIN 18330, Abschnitt 3.1.2) [9]. Auch in DIN EN 1996-2/NA Abschnitt 3.6.3 NA.3 [10] wird gefordert, dass bei Frost nur unter besonderen Schutzmaßnahmen gearbeitet werden darf. Der Einsatz von Frostschutzmitteln ist nicht zulässig; gefrorene Baustoffe dürfen nicht verwendet werden. Der Einsatz von Salzen zum Auftauen ist ebenfalls nicht zulässig.

INFO

Das Mauern bei Frost bedarf nach VOB-C: DIN 18330 grundsätzlich der Zustimmung des Auftraggebers und darf nach DIN EN 1996/NA nur unter besonderen Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Das frische Mauerwerk ist vor Frost zu schützen.

Das frische Mauerwerk ist vor Frost rechtzeitig zu schützen, z.B. durch Abdecken. Auf gefrorenem Mauerwerk darf nicht weitergemauert werden. Durch Frost oder andere Einflüsse beschädigte Teile von Mauerwerk sind vor dem Weiterbau abzutragen. Von einigen Mörtelherstellern werden so genannte Wintermörtel angeboten. Dieser Begriff bezieht sich nicht auf die Verwendbarkeit bei Frost. Er ist so zu verstehen, dass die Rezeptur des Mörtels auf die im Winterhalbjahr vorherrschenden Witterungsbedingungen geändert wurde. Entsprechende Schutzmaßnahmen und sonstige vorbereitende Arbeiten für das Mauerwerk und die zu verarbeitenden Mauersteine sind auch bei Verwendung dieser Mörtel erforderlich.

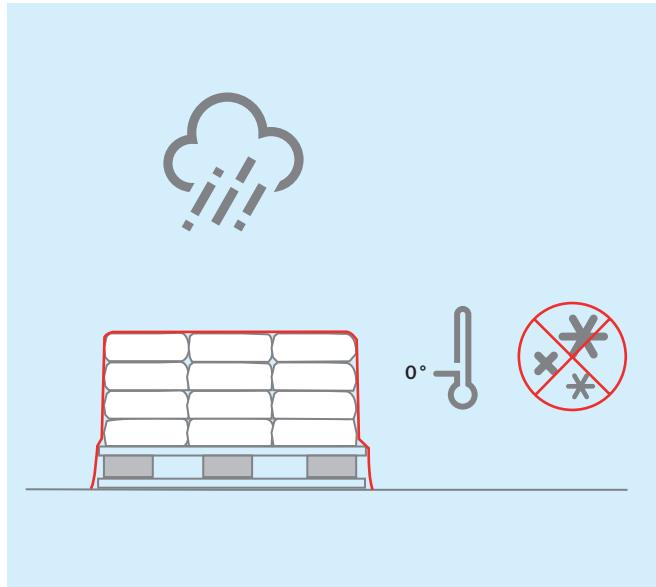


Bild 1 Lagerung von Stein und Mörtel

Entsprechend VOB-C:DIN 18330 Mauerarbeiten, Abschnitt 3.2.6 darf Mauerwerk aus Kalksandstein nicht abgesäuert werden. Dies ist besonders bei Sicht- und Verblendmauerwerk zu beachten.

Die umweltschädliche Wirkung von chloridhaltigen Tausalzen ist bekannt. Bei dem Einsatz auf Baustellen können diese hochaggressiven Salzlösungen zusätzlich zur Zerstörung von Bauteilen aus Mauerwerk und Beton und zur beschleunigten Korrosion der Stahleinlagen führen. In DIN EN 1996-2/NA wird auf diese Gefahr besonders hingewiesen. Der Zerstörungsprozess als physikalischer und chemischer Vorgang wird durch den kombinierten Angriff der beim Auftauen entstehenden wässrigen Salzlösungen, die in Geschossdecken und Wandaufbauten eindringen, und den in der hiesigen Klimazone üblichen Frost-Tau-Wechsel ausgelöst. Das kann bereits bei geringen Chloridkonzentrationen zu mehr oder weniger starken Schäden am Mauerwerk führen. Daher sind Arbeitsplätze und Arbeitsflächen auf der Baustelle auf keinen Fall mit Tausalzen, sondern mechanisch oder unter Verwendung von Wasserdampfplanzen von Eis und Schnee zu befreien. Im Streu- und Spritzbereich bestehender Gebäude sind ebenfalls keine Tausalze zu verwenden. Weiterhin besteht die Gefahr, dass Ausblühungen im Mauerwerk auftreten, die zu Folgeschäden in Putz und Anstrich führen können.

INFO

Der Einsatz von Salzen zum Abtauen ist nicht zulässig (DIN EN 1996-2/NA). Dies gilt für Baustellen und bestehende Gebäude.

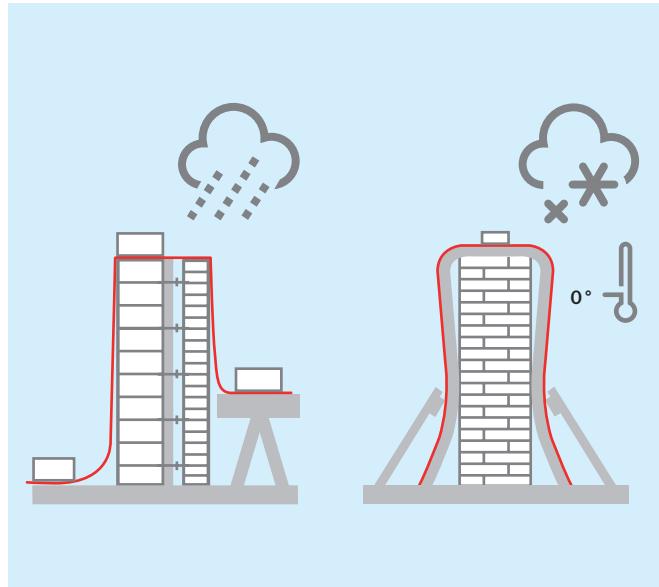


Bild 2 Frisches KS-Mauerwerk ist vor Regen und Frost zu schützen

7. Erdbebensicherheit

Deutschland ist im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, den USA oder Japan aufgrund der gemessenen Intensitäten und der Erdbebendauer ein Gebiet mit nur geringer bis sehr geringer Seismizität.

Nach jahrelanger Diskussion um den Nationalen Anhang soll mit der MVV TB 2026 nunmehr der Eurocode 8 [11] als geltende Norm zur Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben bauaufsichtlich eingeführt werden. Alle in den deutschen Erdbebengebieten (Bild 3) einzuhaltenden Grundlagen, Erdbeben-einwirkungen und Regeln für Hochbauten sind dort enthalten. Hauptziel ist der Schutz von Menschenleben durch die Sicherstellung der Standsicherheit im Falle eines Erdbebens. Bei Erdbeben handelt es sich um eine außergewöhnliche Einwirkung. Die Bemessungsphilosophie zielt nicht darauf ab, bei dem schwersten am Standort zu erwartenden Erdbeben einen vollständig schadensfreien Zustand des Bauwerks zu garantieren. Ziel ist es, menschliches Leben zu schützen, Schäden zu begrenzen und die Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke zum Schutz der Bevölkerung sicherzustellen.

Übertragen auf Mauerwerksbauten bedeutet dies, dass es beim „Bemessungserdbeben“ durchaus zu Rissen kommen darf. Diese Risse dürfen jedoch nicht die Standsicherheit des Gebäudes gefährden.

Mit Einführung des Eurocode 8 wird auch die Planung und Bemessung von Mauerwerksbauten in deutschen Erdbebengebieten neu justiert. Einwirkungen und Baugrundverhältnisse wurden neu festgelegt und Bemessungsverfahren dem aktuellen Stand der Technik angepasst.

7.1 Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe

In deutschen Erdbebengebieten dürfen generell alle in DIN EN 1996/NA geregelten Mauersteine und Mauermörtel verwendet werden. Dies schließt alle Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402 sowie Kalksandsteine mit allgemeiner Bauartgenehmigung ein.

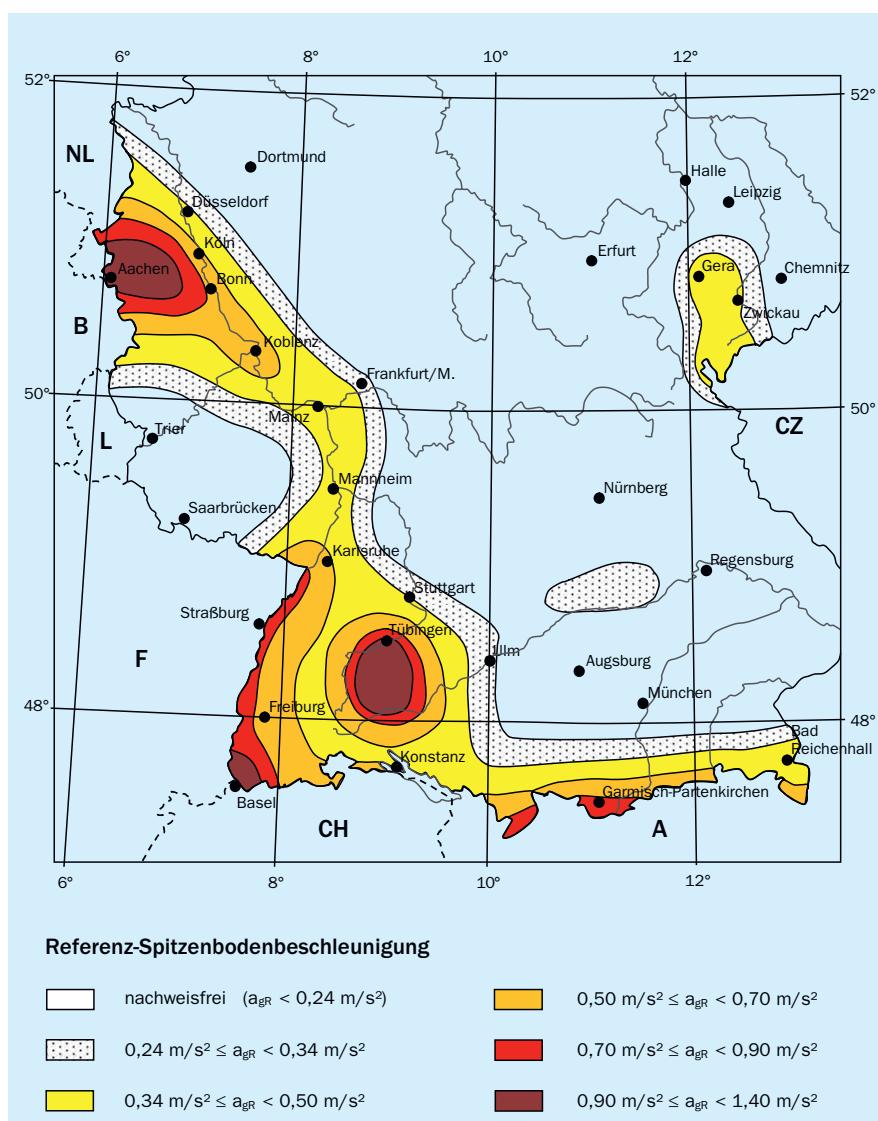


Bild 3 Deutsche Erdbebengebiete nach DIN EN 1998-1/NA

INFO

KS-Mauerwerk darf bei Einhaltung der geforderten konstruktiven Regeln und/oder rechnerischen Nachweise in allen deutschen Erdbebengebieten uneingeschränkt angewendet werden.

7.2 ErdbebenNachweis

Auf einen expliziten rechnerischen ErdbebenNachweis von einfachen Mauerwerksbauten der Bedeutungskategorien I und II (hierunter fallen im Regelfall auch übliche Büro- und Wohngebäude) kann verzichtet werden, wenn die konstruktiven Regeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.7.2 und Anhang H eingehalten sind. Auf der Grundlage detaillierter neuerer Untersuchungen und Forschungsergebnisse sind hierbei unter bestimmten Bedingungen nunmehr auch bis zu fünfgeschossige Gebäude aus KS-Mauerwerk (bisher maximal drei Geschosse) ohne expliziten Sicherheitsnachweis möglich.

Mit MINEA [12] steht eine benutzerfreundliche Softwarelösung zum ErdbebenNachweis zur Verfügung. Neben dem vereinfachten Nachweis (Einhaltung der konstruktiven Regeln) sind auch lineare und nichtlineare rechnerische ErdbebenNachweise nach DIN EN 1998-1/NA im Programm umgesetzt.

8. Einbruchhemmung

Alle zwei Minuten passiert in Deutschland ein Einbruch. Die Summe der jährlich durch Einbrüche in Wohnungen verursachten Schäden beträgt rund 470 Mio. Euro. Der durchschnittliche Schaden eines Einbruchs im privaten Bereich beträgt dabei rund 3.250 Euro [13, 14]. Neben dem materiellen Schaden stellt jeder Einbruch einen Eingriff in die persönliche Sphäre dar und zieht oft eine starke psychische Belastung nach sich. Das Bedürfnis nach Sicherheit in den eigenen vier Wänden sowie der hohe materielle und persönliche Wert der mobilen Gegenstände (Schmuck, Laptop, Akten etc.) machen daher den Einbruchschutz eines Gebäudes zu einem wichtigen Qualitätskriterium. Bei Gewerbetreibenden kann der Schaden eines Einbruchs (Verlust von Daten durch Zerstörung oder Diebstahl ganzer Büroausstattungen inklusive Computern und Servern) den unternehmerischen Ruin bedeuten. Einbrecher haben nur wenige Minuten Zeit, um in das Gebäude zu gelangen. Fenster und Türen sind die bevorzugten Angriffspunkte (Bild 4). Nach fünf Minuten gibt der Einbrecher auf – so lautet das Ergebnis einer wissenschaftlichen Studie von Prof. Dr. Feltes M.A., Lehrstuhl für Kriminologie, Kriminalpolitik und Polizeiwissenschaft an der Ruhr-Universität Bochum [15].

Anforderungen an die umgebenden Wände einbruchhemmender Bauteile wie Fenster, Türen und Abschlüsse (sowie das zu erwartende Täterverhalten) sind in DIN EN 1627:2011-09 [16] beschrieben. Gegenüber der Vorgängernorm DIN V 1627:1999 hat sich die Bezeichnung der Widerstandsklassen geändert. Alte Prüfzeugnisse dürfen im Allgemeinen weiter benutzt werden, da im Nationalen Anhang (NA) der Norm eine Korrelationstabelle angegeben ist. Die Korrelation mit den Widerstandsklassen nach der alten Norm ist in Tafel 7 angegeben.

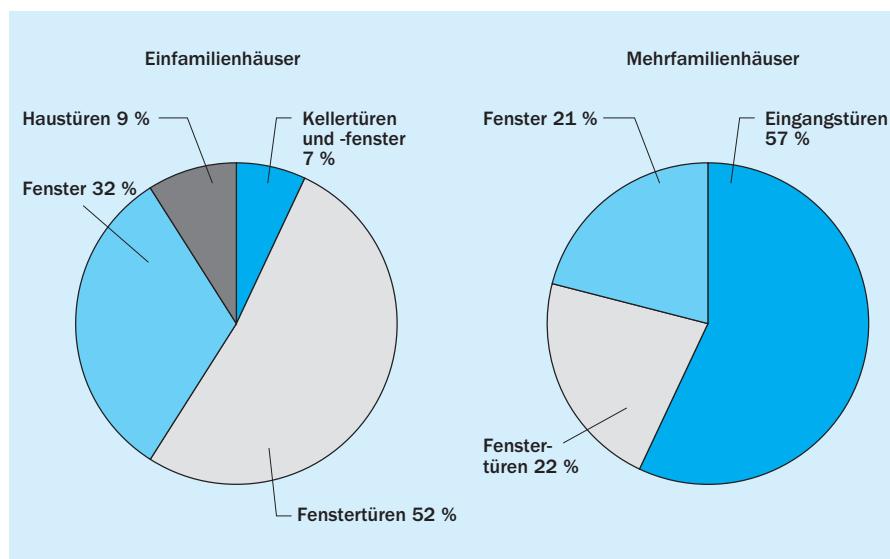


Bild 4 Einbrecher kennen die Schwachstellen des Hauses [15]

Die Widerstandsklassen RC 2 und RC 3 sind für den privaten Bereich üblicherweise ausreichend [17]. Dies gilt auch für übliche Gewerbegebäute und öffentliche Objekte mit geringem und durchschnittlichem Risiko.

INFO

Die Einstufung in die Versicherungsklassen richtet sich auch nach den baulich realisierten Einbruchswiderstandsklassen.

Tafel 7 dient nur zur groben Orientierung. Fachkundige Beratung, z.B. durch die Beratungsstelle der örtlichen Polizei, ist unerlässlich. Die Abschätzung des Risikos sollte unter Berücksichtigung von Nutzung und Sachwertinhalt sowie der Lage des Gebäudes (geschützt/ungeschützt) auf eigene Verantwortung

Tafel 7 Widerstandsklassen in Abhängigkeit vom Täterverhalten [16]

Widerstandsklasse DIN EN 1627:2011	Widerstandsklasse DIN EN V 1627:1999	Widerstands- zeit [min]	Mutmaßliches Täterverhalten
RC 1 N	WK 1	⁻¹⁾	Bauteile der Widerstandsklasse RC 1 N weisen nur einen geringen Schutz gegen den Einsatz von Hebelwerkzeugen auf.
RC 2 N	-	3	Der Gelegenheitsräuber versucht zusätzlich, mit einfachen Werkzeugen wie Schraubendreher, Zange und Keil, das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen.
RC 2	WK 2	3	Der Täter versucht zusätzlich, mit einem zweiten Schraubendreher und einem Kuhfuß sowie mit einfaches Bohrwerkzeug das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen.
RC 3	WK 3	5	Der erfahrene Täter setzt zusätzlich Säge- und Schlagwerkzeuge wie Schlagaxt, Stemmeisen, Hammer und Meißel sowie eine Akku-Bohrmaschine ein.
RC 4	WK 4	10	Der sehr erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z.B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer (max. Ø 125 mm), ein.
RC 5	WK 5	15	Der sehr erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z.B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer (max. Ø 230 mm), ein.
RC 6	WK 6	20	Der sehr erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z.B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer (max. Ø 230 mm), ein.

¹⁾ Wird nicht manuell geprüft

Die Zuordnung der Widerstandsklassen von einbruchhemmenden Bauteilen zu Massivwänden nach [16] ist in Tafel 8 angegeben.

Tafel 8 Zuordnung der Widerstandsklassen von einbruchhemmenden Bauteilen zu Massivwänden nach [16]

Widerstandsklasse des Bauteils nach DIN EN 1627	Umgebende Wände					aus Stahlbeton nach DIN EN 1992/NA	
	Wanddicke (ohne Putz) [mm]	Steindruckfestigkeitsklasse (SFK)	Steinrohdichtheitsklasse (RDK)	Mörtelklasse	Nenndicke [mm]	Festigkeitsklasse	
RC 1 N	≥ 115	≥ 12	–	M 2,5	M 10	≥ 100	≥ C 16/20
RC 2 N	–	–	–	–	–	–	–
RC 2	–	–	–	–	–	–	–
RC 3	≥ 115	≥ 12	–	M 2,5	M 10	≥ 120	≥ C 16/20
RC 4	≥ 240 ¹⁾	≥ 12	–	M 2,5	M 10	≥ 140	≥ C 16/20
RC 5	≥ 240 ¹⁾	≥ 20	≥ 1,8	–	M 10	≥ 140	≥ C 16/20
RC 6	≥ 240 ²⁾	≥ 20	≥ 1,8	–	M 10	≥ 140	≥ C 16/20

¹⁾ RC 4 und RC 5 auch mit: KS -R P 20-2-0,7 DF (200) bzw. Maße (L · B · H) 248 · 200 · 248 mm
²⁾ Anwendbar auf Formate der Höhe 238 mm, 498 mm, 623 mm, und 648 mm.
Nachweis: ift Rosenheim Prüfbericht Nr. 12-002464-PR01

erfolgen. Bei hohem Risiko sollten zusätzlich alarmtechnische Meldeanlagen eingesetzt werden. Bei Verwendung einbruchhemmender Elemente der Widerstandsklassen RC 4 bis RC 6 in Flucht- und Rettungswegen ist zu beachten, dass der Werkzeugeinsatz der Feuerwehr erschwert ist bzw. berücksichtigt werden muss. Außensteckdosen, z.B. im Flur einer Wohnung, sollten spannungslos sein, um ihre Benutzung durch Einbrecher zu verhindern.

INFO

Tafel 8 zeigt, wie mit üblichen Wandkonstruktionen aus Kalksandstein alle Einbruchswiderstandsklassen realisiert werden können.

Die Einschränkungen hinsichtlich der Steinformate in den Fußnoten 1 und 2 in Tafel 8 resultieren aus maximal zulässigen Einstiegsöffnungen, die im Rahmen einer Prüfung zur Einstufung eines Bauteils in eine Widerstandsklasse nach einer bestimmten Zeit nicht überschritten werden darf.

9. Austrocknungsverhalten von KS-Mauerwerk

9.1 Übliche Baufeuchte

Das Austrocknungsverhalten von einer Baustoffsicht und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn von der betreffenden Baustoffsicht Aufgaben bezüglich des Wärmeschutzes zu übernehmen sind. Untersuchungen [18] kamen zum Ergebnis, dass der rechnerisch ermittelte U-Wert bei monolithischen Wänden aus „dämmenden Mauersteinen“ z.T. erst nach zwei bis drei Jahren erreicht wird. Im Gegensatz dazu nehmen die bei KS-Funktionswänden meist verwendeten Dämmstoffe (z.B. EPS-Hartschaum oder hydrophobierte Mineralfaserplatten) praktisch kein Wasser auf, so dass der Wärmeschutz von KS-Außenwänden von Anfang an gewährleistet ist.

Generell ist in der Austrocknungsphase zu beachten, dass ein erheblicher Teil der Baufeuchte nicht an die Außenluft, sondern an den Innenraum abgegeben wird. In dieser Zeit ist es daher erforderlich, den Luftwechsel zu erhöhen, um die Baufeuchte über Lüftung nach außen abzuführen.

Für die Austrocknung von Innenwänden können nach einer Veröffentlichung von Schubert [19] näherungsweise folgende Anhaltswerte genannt werden:

- $d = 11,5 \text{ cm}$: 3 bis 6 Monate,
 $d = 24 \text{ cm}$: bis 12 Monate.
- Die Untersuchungen wurden unter ungünstigen Klimarandbedingungen durchgeführt ($20^\circ\text{C}/65\%$ rel. Luftfeuchte). Bei Lochsteinen sowie bei praxisgerechten Klimarandbedingungen sind deutlich kürzere Austrocknungszeiten zu erwarten.

Diese Untersuchungen von Schubert werden weitgehend bestätigt durch eigene Austrocknungsversuche neueren Datums, in die auch Innenputze mit einbezogen werden. Bei den verwendeten Dispersionsputzen war der Ausgangsfeuchtezustand mit ca. 6 M-% festgelegt worden (Bild 5). Für die Austrocknungsversuche wurden wassergesättigte Steine unter Laborbedingungen verwendet.

9.2 Durchfeuchtung infolge von Extrem-Ereignissen wie Hochwasser

Hochwasserereignisse treten in Deutschland immer wieder auf. Angesichts des sich abzeichnenden Klimawandels ist davon auszugehen, dass Extrem-Ereignisse wie Überflutungen in der Zukunft zunehmen werden [21]. Dies hat zur Folge, dass Gebäude in hochwassergefährdeten Regionen zunehmend von Hochwasserereignissen betroffen sein werden und dabei bisweilen bis ins Obergeschoss überflutet werden können [22]. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage der Eignung von Baustoffen für den Einsatz innerhalb dieser Regionen.

Die Hochwasserschutzfibel [23] zählt Kalksandstein im Gegensatz zu anderen Bauweisen zu den gut geeigneten Baustoffen bei der Gefahr einer Hochwasserbeanspruchung. In einem Forschungsprojekt an der RWTH Aachen wurden die mechanischen Eigenschaften von Mauerwerk bei Wasserbeaufschlagung bis zur Sättigung und anschließender Rücktrocknung untersucht [24]. Dabei wurden die folgenden Ergebnisse festgestellt:

- Die Beaufschlagung mit Wasser bis zur Sättigung beeinflusst die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Kalksandsteinen und KS-Mauerwerk nur geringfügig.
- Nach Rücktrocknung erreichen Kalksandsteine und KS-Mauerwerk mindestens die Festigkeitseigenschaften welche im Ausgangszustand vorhanden waren.

Untersuchungen zum Trocknungsverhalten durchfeuchteter Bauteilen wurden neben [20] auch in [25] durchgeführt. Die Untersu-

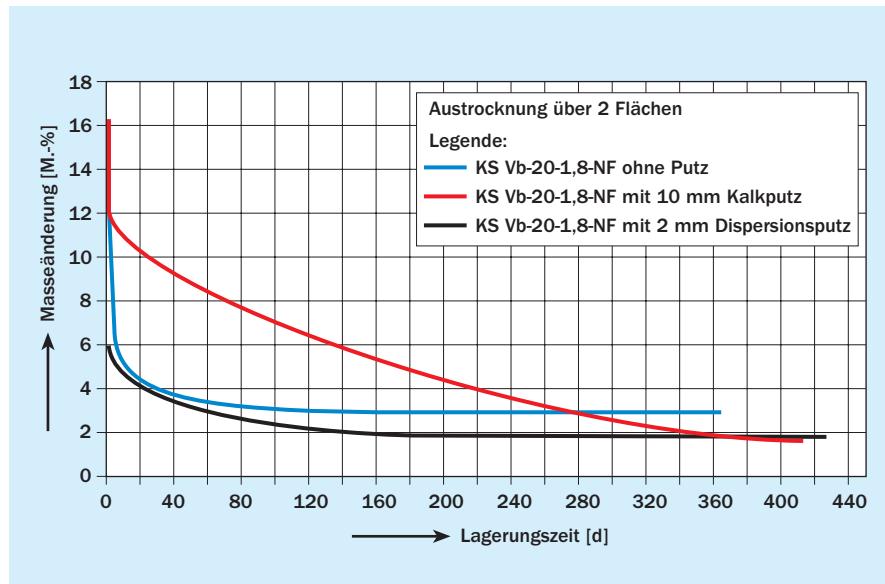


Bild 5 Einfluss von Putzen auf das Austrocknungsverhalten von Kalksandsteinen (Austrocknung über 2 Flächen, Klima: 20 °C/65 % rel. F.)

chungen von Schubert in [20] werden durch die Berechnungen in [25] bestätigt. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse in [25], dass hochwassergeschädigte Bauteile aus KS-Mauerwerk mittels natürlicher Belüftung getrocknet werden können. Die zum Abtransport der anfallenden Feuchte erforderlichen Luftwechselraten können in beheizten Räumen in der Regel durch eine Fensterlüftung gewährleistet werden. Eine Beschleunigung der Trocknung von KS-Mauerwerk ist durch maschinelle Trocknungsverfahren wie z.B. Kondensationslufttrocknern oder Infrarotflächenheizungen (in der Anfangsphase) gut möglich. Beim Einsatz von Infrarotflächenheizungen ist jedoch darauf zu achten, dass nur Geräte verwendet werden, die zu Oberflächentemperaturen auf dem Mauerwerk von maximal 40 °C führen [22].

10. Explosionsdruck

Die Bemessung von Kalksandsteinwänden auf Explosionsdruck kann aufgrund von verschiedenen eher seltenen Ereignissen erforderlich werden. Explosionsdrücke sind daher grundsätzlich als außergewöhnliche Einwirkungen einzustufen. Bereits seit einigen Jahren müssen beispielsweise vermehrt Innenwände auf solche Horizontalbelastungen infolge Überdruck-Entladung bei Schaltanlagen bemessen werden, da auch bei Anordnung von Druckentlastungseinrichtungen zumeist noch ein horizontaler Restdruck anzusetzen ist.

Die Bemessung von vertikal tragenden Wänden nach DIN EN 1996-1-1 unter zusätzlicher horizontaler Beanspruchung stellt kein Problem dar. Der Nachweis kann mit einer üblichen Bemessungs-Software erfolgen. Für vertikal nicht tragende Wände stehen hingegen kaum Informationen zur tatsächlichen Biegetragfähigkeit bei horizontaler Druckbeanspruchung zur Verfügung. Lediglich für windbeanspruchte nicht tragende Außenwände sind entsprechende Tabellen mit zulässigen Ausfachungsflächen verfügbar.

Für Ausfachungsflächen infolge Windbelastung wurde in verschiedenen Forschungsvorhaben an der Technischen Universität Darmstadt – z.B. [26], [27], [28] – ein vereinfachtes Nachweisverfahren zur Bestimmung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufnehmbaren Beanspruchungen für nicht tragende Wände entwickelt, welches gleichzeitig auch die Angabe zulässiger Ausfachungsflächen in Abhängigkeit der Einwirkungen erlaubt. Die resultierenden Ausfachungsflächen für Wind auf nicht tragende Außenwände sind im Kapitel 6 des Planungshandbuchs angegeben.

Aufbauend auf diesen Vorarbeiten wurden nunmehr ergänzend entsprechende Untersuchungen für Wände aus KS-Mauerwerk unter horizontaler Druckbelastung infolge Explosion durchgeführt und entsprechende Größtwerte der Ausfachungsflächen tabellarisch dargestellt [29]. Ausgangspunkt der Tragfähigkeitsanalyse von nicht tragenden Wänden unter horizontaler Beanspruchung war die Dissertation von Richter [26]. Unter Verwendung des dort entwickelten Nachweisverfahrens kann die Tragfähigkeit von nicht tragenden Mauerwerkswänden unter hori-

zontalen Einwirkungen bzw. die maximal zulässige Ausfachungsfläche der Wand A_W wie folgt bestimmt werden:

$$A_W = t^2 \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{q_{ex,d}} \cdot Y_W \quad (1)$$

mit

A_W	Ausfachungsfläche
t	Wanddicke
f_{tk1}	Vertikale Biegezugfestigkeit ($f_{tk1} = 0,2 \text{ N/mm}^2$ nach DIN EN 1996-1-1 und [Ex5])
μ_t	Biegezugverhältnis ($\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2} = 1,1$ nach [30])
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert ($\gamma_M = 1,3$ für außergewöhnliche Einwirkungen)
$q_{ex,d}$	Bemessungswert des Explosionsdrucks ($q_{ex,d} = q_{ex,k}$ mit $\gamma_{A,ex} = 1,0$)
Y_W	Traglastfaktor in Abhängigkeit der Lagerungsbedingungen, der Wandgeometrie und des Biegezugverhältnisses nach [30]

Die angegebene Biegezugfestigkeit und das Biegezugverhältnis können nach [30] für KS-Plansteine und KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel und einem Überbindemaß $I_{ol} \geq 0,4 \cdot h_u$ angesetzt werden. Eine Stoßfugenvermörtelung ist nicht erforderlich. Mit den dargestellten Eingangsparametern kann nach Gleichung (1) die größtmögliche Ausfachungsfläche infolge Explosionsdruck ermittelt werden.

Für einen Einheitswert des Explosionsdrucks von $q_{ex,d} = 1,00 \text{ kN/m}^2$ sind die entsprechenden Ergebnisse für die Ausfachungsflächen $A_{ex,0}$ bei verschiedenen Lagerungsbedingungen in Tafel 9 dargestellt. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Bei anderen Explosionsdrücken müssen die angegebenen Ausfachungsflächen $A_{ex,0}$ mit dem Korrekturbeiwert k_{ex} nach Tafel 10 multipliziert werden:

$$A_{ex} = k_{ex} \cdot A_{ex,0} \quad (2)$$

Tafel 9 Größtwerte der Ausfachungsflächen von nicht tragenden Kalksandsteinwänden bei Explosionseinwirkung

<p>Größtwerte der Ausfachungsflächen $A_{ex,0}$ [m²]</p> <p>KS-Plansteine und KS XL, KS XL-E und KS XL-N mit Dünnbettmörtel ohne Stoßfugenvermortelung</p> <p>Überbindemaß $l_{ol} \geq 0,4 \cdot h_u$ / Explosionsdruck $q_{ex,d} = 1,0 \text{ kN/m}^2$</p>

4-seitig gehalten; seitlich gelenkig gelagert

Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) ¹⁾					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	10,5	6,6	5,5	5,4	6,0	6,9
150	17,9	11,3	9,4	9,2	10,2	11,7
175	24,4	15,4	12,7	12,5	13,8	15,9
200	31,9	20,1	16,6	16,3	18,1	20,8
240	45,9	28,9	24,0	23,5	26,0	29,9
300	71,8	45,1	37,4	36,7	40,7	46,8
365	106,3	66,8	55,4	54,3	60,2	69,2

4-seitig gehalten; seitlich eingespannt

Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) ¹⁾					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	10,8	7,1	7,0	7,8	9,6	11,5
150	18,3	12,1	12,0	13,2	16,4	19,6
175	24,9	16,5	16,3	18,0	22,3	26,6
200	32,6	21,6	21,3	23,5	29,2	34,8
240	46,9	31,1	30,7	33,9	42,0	50,1
300	73,3	48,6	47,9	52,9	65,6	78,2
365	108,5	71,9	71,0	78,4	97,1	115,8

3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich gelenkig gelagert

Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) ¹⁾					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	2,8	2,5	2,6	3,0	4,1	5,3
150	4,8	4,2	4,5	5,2	7,0	9,1
175	6,5	5,7	6,1	7,0	9,5	12,4
200	8,5	7,4	8,0	9,2	12,4	16,1
240	12,2	10,7	11,5	13,2	17,9	23,2
300	19,1	16,7	17,9	20,7	28,0	36,3
365	28,3	24,7	26,5	30,6	41,4	53,7

3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich eingespannt

Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) ¹⁾					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	4,3	4,6	5,0	5,6	7,0	8,5
150	7,2	7,7	8,6	9,6	11,8	14,5
175	9,8	10,5	11,7	13,0	16,1	19,7
200	12,9	13,8	15,2	17,0	21,0	25,7
240	18,5	19,8	22,0	24,5	30,3	37,0
300	28,9	31,0	34,3	38,2	47,3	57,9
365	42,8	45,9	50,8	56,6	70,1	85,6

¹⁾ Zwischenwerte dürfen gradlinig interpoliert werden.

¹⁾ Zwischenwerte dürfen gradlinig interpoliert werden.

Tafel 10 Faktor k_{ex} für die Umrechnung der Ausfachungsflächen bei anderen Explosionsdrücken

Umrechnungs-faktor	Explosionsdruck $q_{\text{ex,d}}$ [kN/m ²] ¹⁾															
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
k_{ex}	2,00	1,67	1,43	1,25	1,11	1,00	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,50	0,40	0,33	0,25	0,20

¹⁾ Zwischenwerte dürfen gradlinig interpoliert werden.

Literatur

- [1] DIN 4030-1:2008-06 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte
- [2] DIN 38409-6:1986-01 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Härte eines Wassers (H 6)
- [3] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3907/umfrage/mobilfunkanschluesse-in-deutschland/#~:text=Die%20Anzahl%20der%20Mobilfunkanschl%C3%BCsse%20in,Millionen%20mehr%20als%20im%20Vorjahr>
- [4] Pauli, P.; Moldan, D.: Reduzierung hochfrequenter Strahlung, 2. kompl. überarbeitete und erweiterte Auflage 2003
- [5] Bleigleichwert, Rechenhilfe zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke nach DIN 6812. Bezug über KS-Homepage.
- [6] DIN 6812:2013-06 Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes
- [7] Prüfzeugnisse zur Beschussicherheit von KS-Wänden, Beschussamt Ulm, 30.10.2001
- [8] DIN EN 1522:1999-02 Fenster, Türen, Abschlüsse – Durchschußhemmung – Anforderungen und Klassifizierung. Deutsche Fassung EN 1522:1998
- [9] DIN 18330:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Mauerarbeiten
- [10] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6 Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk in Verbindung mit: DIN EN 1996-2/NA: 2012-01
- [11] DIN EN 1998-1:2010-12 Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbeben-einwirkungen und Regeln für Hochbauten; in Verbindung mit DIN EN 1998-1/NA:2023-11
- [12] MINEA – Software zur Berechnung und Bemessung von Mauerwerksbauten – SDA-solutions GmbH, Herzogenrath 2025
- [13] „Bei jedem ist etwas zu holen“ – Einbruch-Report 2017 der deutschen Versicherungswirtschaft, GDV, April 2017
- [14] Initiative für aktiven Einbruchschutz „Nicht bei mir!“, Pressemitteilung vom 23.05.2008
- [15] Nach fünf Minuten gibt der Einbrecher auf!, Hrsg.: Programm Polizeiliche Kriminalprävention der Länder und des Bundes (ProPK) und Stiftung Deutsches Forum für Kriminalprävention (DFK), Berlin/Stuttgart, 2006
- [16] DIN EN 1627:2011-09/NA Fenster, Türen Abschlüsse – Einbruchhemmung – Anforderungen und Klassifizierung
- [17] www.k-einbruch.de/fenster
- [18] Holm, A.; Sedlbauer, K.; Radon I.; Künzel H.M.: Einfluss der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP Mitteilung 29, 2002
- [19] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nicht tragenden Mauerwerkswänden. Berlin: Ernst & Sohn – In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473–488
- [20] Schubert P.: Trocknungsschwinden von Kalksandsteinen. Berlin: Ernst & Sohn – In: Das Mauerwerk, Heft 3 (2003)
- [21] Rahmstorf, S.: Ursachen und Folgen des Klimawandels – ein kurzer Überblick über den Wissensstand mit historischem Kontext. Mauerwerk 17, Heft 5, 2013
- [22] Alfes, C.; Schäfers, M.: Bauphysikalische und mechanische Aspekte von Mauerwerk nach Flutkatastrophen. Mauerwerk 18, Heft 5, 2014
- [23] Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Berlin, Februar 2022
- [24] Brameshuber, W.; Graubohm, M.: Instandsetzung wasserbeaufschlagter Mauerwerksbauteile – Einfluss einer Wasserbeaufschlagung auf Eigenschaften von Mauerwerk und Bauteilbekleidungen, Austrocknungsmaßnahmen und deren Wirkung. Institut für Bauforschung der RWTH Aachen im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, Az. Z6-10.07.03-04.12. Forschungsbericht F917. Aachen, 02.07.2007
- [25] Otto, F.; Klatecki, M.; Schäfers, M.: Optimierung von Austrocknungsprozessen hochwassergeschädigter Bauteile unter Berücksichtigung der gängigen Trocknungsverfahren zur Sicherung des Gebäudebestandes und zur Vermeidung von Sekundärschäden durch Feuchtemigration in Bauteile sowie innerhalb von Wohnungen. Fraunhofer IRB, Verlag C.H. Beck, 2009
- [26] Richter, L.: Tragfähigkeit nicht tragender Wände aus Mauerwerk, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2009
- [27] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nicht tragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-06; Juni 2008
- [28] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nicht tragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-08; September 2008
- [29] Graubner, C.-A.: Zulässige Ausfachungsflächen von Mauerwerk aus KS-Plansteinen mit Dünnbettmörtel bei Explosionsdruck; Stellungnahme Nr. 2023-02/AG; April 2023
- [30] Brameshuber, W., Saenger, D.: Forschungsbericht F 7066 – Erarbeiten einer elektronischen Datenbank zu Biegezugfestigkeitsversuchen an Mauerwerk aus Kalksandsteinen sowie Auswertung der Daten; Aachen, 28.11.2011