



Kapitel 5

Stand: 08/2025

AUßENWAND- KONSTRUKTIONEN

Dipl.-Ing. Silke Sous, AlBau Aachen



1. Allgemeine Einleitung und Anforderungen

Außenwände müssen bestimmungsgemäß zahlreiche baukonstruktive und bauphysikalische Anforderungen erfüllen. Hierzu zählen u.a.:

- Standsicherheit,
- Sommerlicher Wärmeschutz,
- Winterlicher Wärmeschutz (Mindestwärmeschutz und Energieeinsparung),
- Luftdichtheit,
- Feuchteschutz und Witterungsschutz,
- Schallschutz,
- Brandschutz,
- Dauerhaftigkeit.

Aufgrund der funktionalen Trennung zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz können KS-Außenwände für den konkreten Anwendungsfall optimiert und als dauerhaft gebrauchstaugliche Bauteile geplant und errichtet werden.

1.1 Standsicherheit

Außenwände müssen standsicher sein. Diese Anforderung ergibt sich aus der Musterbauordnung sowie den jeweiligen Landesbauordnungen. Im Eurocode 6 (DIN EN 1996-1-1 [1] bis DIN EN 1996-3 [4]) mit den jeweiligen Nationalen Anhängen sind die zur Planung und Ausführung notwendigen Bemessungsregeln enthalten. Der geforderte Nachweis der Standsicherheit kann unter bestimmten Randbedingungen mit einem vereinfachten Verfahren oder – ohne Einschränkung – mit einem genauen Verfahren geführt werden. Neben den anfallenden Eigen- und Nutzlasten einer Wandkonstruktion müssen hierzu auch Beanspruchungen aus Winddruck und -sog sowie Spannungen aus klimatischen Einwirkungen zu Grunde gelegt werden.

1.2 Wärmeschutz und Luftdichtheit

Außenwände müssen den Anforderungen des sommerlichen und des winterlichen (Mindest-) Wärmeschutzes, der Luftdichtheit und der Energieeinsparung gerecht werden. Einzelheiten sind in DIN 4108-2 [6], DIN 4108-7 [8] und dem Gebäudeenergiegesetz GEG [9] enthalten.

- Sommerlicher Wärmeschutz
Die Aufheizung von Räumen in Gebäuden durch übermäßige Sonneneinstrahlung wird von Nutzern oft als unbehaglich empfunden und wirkt sich bei Überhitzung gesundheitsschädlich aus. Besonders kritische Räume sind daher nach DIN 4108-2 [6] hinsichtlich der vorhandenen thermischen Behaglichkeit zu prüfen. Unterschieden werden leichte und schwere Bauweisen. Typische leichte Bauweisen sind die Holzbauweisen. KS-Außenwände zählen durch ihre große flächenbezogene Masse zu den schweren Bauweisen, die eine hohe Wärmespeicherfähigkeit aufweisen und sich daher positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken.

Weitere Einflusskriterien auf den sommerlichen Wärmeschutz sind:

- der Fensterflächenanteil eines Raumes,
- der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung,
- die Wirksamkeit einer ggf. vorhandenen Sonnenschutzvorrichtung,
- die Möglichkeit einer erhöhten Nachtlüftung.

Bei optimaler Abstimmung dieser einzelnen baulichen Komponenten kann häufig eine Klimatisierung der Räume entfallen.

- Winterlicher (Mindest-) Wärmeschutz
Zur Gewährleistung eines gesunden und hygienischen Wohnklimas müssen Schimmel und Tauwasser auf der Innenseite von Außenbauteilen vermieden werden. Um eine ausreichend hohe, innenseitige Oberflächentemperatur von Außenbauteilen zu realisieren, müssen daher Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 [6] eingehalten werden.
- Energiesparender Wärmeschutz
Darüber hinaus ist aus Gründen des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung die zur Beheizung eines Gebäudes notwendige Energie zu reduzieren. Dieses Ziel wird zunächst durch die Begrenzung von Transmissionswärmeverlusten (bauliche/wärmeschutztechnische Qualität einer wärmeübertragenden Umfassungsfläche) und im Weiteren durch die Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs (auf die bauliche Qualität abgestimmte technische Gebäudeausrüstung – Energieaufwand zur Beheizung) erreicht, die nach GEG [9] mit Hilfe des Verfahrens nach DIN V 18599 [10] ermittelt werden.
- Luftdichtheit
Durch Außenbauteile ungeplant stattfindende Luftströmungen verringern den Wärmeschutz eines Gebäudes deutlich und können über Leckagen im Bauteilinneren Schäden durch mitgeführte Feuchte hervorrufen. Daher ist die Luftdurchlässigkeit eines Gebäudes zu begrenzen (DIN 4108-7 [8] und GEG [9]). Eine unter energetischen Gesichtspunkten ausreichende Luftdichtheit kann mit dem Differenzdruckverfahren (Blower-Door-Prüfung) nachgewiesen werden. Aber selbst bei Erreichen der geforderten Grenzwerte können in der Hüllfläche des Gebäudes Leckagen vorhanden sein, die zu Tauwasserschäden in der Konstruktion führen. Daher sind diese Leckagenstellen vom Prüfer zu dokumentieren und zeitnah von dem jeweiligen Gewerk zu beseitigen.

KS-Außenwände mit vermörtelten Stoßfugen sind ausreichend luftdicht. Werden sie mit unvermörtelten Stoßfugen errichtet, sind sie erst dann im Regelquerschnitt ausreichend luftdicht, wenn sie innenseitig mit einem Nassputz ausgestattet werden. Obligatorisch ist – wie bei allen Bauarten auch – die Planung und Ausführung luftdichter Bauteilanschlüsse (z.B. Außenwand und Dach).

- Winddichtheit
Die Winddichtheit kennzeichnet die – bestenfalls nicht vorhandene oder geringe – Durchströmbarkeit eines Außenbauteils durch Außenluft. Die Winddichtheitsebene liegt im

Gegensatz zur Luftdichtheitsebene auf der Außenseite der Dämmebene und verhindert Rotationsströmungen im und um den Dämmstoff. Konkrete Anforderungen werden hierzu in den Regelwerken aber nicht formuliert.

1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Der Schutz vor in der Außenwand und auf deren Innenoberfläche entstehender Feuchte sowie gegenüber der außen vorhandenen Witterung wird in unterschiedlichen Teilen der DIN 4108 geregelt.

■ Feuchteschutz durch Vermeidung von Tauwasser im Bauteilinnern

Der Nachweis zur Begrenzung des Tauwassers im Bauteil erfolgt nach dem stationären Glaserverfahren nach DIN 4108-3 [7]. Es ist nachzuweisen, dass das in den Wintermonaten (Tauperiode) anfallende Tauwasser in den Sommermonaten wieder austrocknet (Verdunstungsperiode). Die angrenzenden Baustoffe dürfen grundsätzlich nicht geschädigt werden. Daher ist die maximal zulässige Tauwassermenge bei kapillar saugfähigen Baustoffen auf $1,0 \text{ kg/m}^2$, bei kapillar nicht saugfähigen Stoffen auf $0,5 \text{ kg/m}^2$ begrenzt. Bei Verwendung von Holz oder Holzwerkstoffen darf sich der massebezogene Feuchtegehalt um nicht mehr als 5 M.-% bzw. 3 M.-% erhöhen.

INFO

KS-Außenwände mit einem Wärmedämmverbundsystem, einer hinterlüfteten Bekleidung oder einer Verblendschale sind von dem Nachweis zur Begrenzung des Tauwassers befreit.

■ Feuchteschutz durch Vermeidung von Schimmelpilzbildung und Tauwasser an der inneren Bauteiloberfläche

Die Vermeidung von Schimmelpilzbildung oder Tauwasser auf den inneren Wandoberflächen wird dann sicher erreicht, wenn bei einem Norminnenraumklima von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 50 % relativer Luftfeuchte eine innere Oberflächentemperatur von $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$ überschritten und eine oberflächennahe Feuchte von 80 % unterschritten wird (Schimmelkriterium nach DIN 4108-2 [6] und DIN TS 4108-8 [11]).

INFO

KS-Außenwände, die dem Mindestwärmeschutz entsprechen, erfüllen die Anforderungen an Schimmelpilzvermeidung.

Diese Temperatur- und Feuchtegrenzen des Schimmelkriteriums sind nach DIN 4108-2 [6] auch im Bereich von Wärmebrücken einzuhalten. Wärmebrücken sind Flächen mit vom Regelquerschnitt abweichenden (höheren) Wärmeströmen, die zur Abkühlung der inneren Oberflächentemperatur beitragen. Sie können an Gebäuden als materialbedingte Wärmebrücken (Baustoffwechsel mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten), als geometrische Wärmebrücken (Kanten und Ecken zwischen Außenwänden und Decken) und als konstruktive Wärmebrücken (Durchdrin-

gungen durch die Wärmedämmung, Verankerungen) vorhanden sein. Zahlreiche Beispiele für wärmeschutztechnisch optimierte Anschlusslösungen, die nicht nachgewiesen werden müssen, sind im Beiblatt 2 zu DIN 4108 [14] enthalten.

■ Witterungsschutz gegen Schlagregen- und Spritzwasserbeanspruchung

In Abhängigkeit von der Jahresniederschlagsmenge werden nach DIN 4108-3 [7] drei Schlagregenbeanspruchungsgruppen definiert und regional in die Gruppen I (geringe Beanspruchung), II (mittlere Beanspruchung) und III (starke Beanspruchung) eingeteilt. Bei lokalen Abweichungen hinsichtlich Topografie (windgeschützt oder windangeströmt) oder Gebäudehöhe (Bungalow oder Hochhaus) ist eine Beurteilung im Einzelfall erforderlich.

In jedem Fall ist aber am Gebäudesockel ein Spritzwasserschutz erforderlich, der durch Gefälle vom Gebäude weg realisierbar ist.

1.4 Schallschutz

Öffentlichrechtliche Anforderungen an den notwendigen Mindestschallschutz gegen Außenlärm sind aus Gründen der Gesundheitsvorsorge nach den jeweiligen Landesbauordnungen einzuhalten. In DIN 4109-1 [15] sind die entsprechenden Schalldämmmaße enthalten, die je nach Gebäudenutzung und vorhandenem Außenlärmpegel variieren. Zivilrechtliche Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz sind darüber hinaus grundsätzlich in DIN 4109-5 [16] und den Schallschutzstufen II und III nach VDI 4100 [17] geregelt. Für Außenwände werden im Hinblick auf die Anforderungen gegenüber Außenlärm in DIN 4109-5 [16] allerdings keine erhöhten Anforderungen festgelegt, wohl aber ein erhöhtes Anforderungsniveau zwischen fremden, schutzbedürftigen Räumen.

Ausschlaggebend zur Gewährleistung einer ausreichenden Direktschalldämmung ist die flächenbezogene Masse der tragenden KS-Wand. Die weiteren Funktionsschichten sind in der Regel von geringerer Bedeutung für das bewertete Schalldämmmaß (Ausnahme: Das Masse-Feder-Masse-Prinzip zweischaliger Wandkonstruktionen kann zu einer Verbesserung der Schalldämmung führen. Die Resonanzfrequenz kann bei WDVS ggf. zur Verringerung der Schalldämmung beitragen).

Weiterhin ist die Flankenschallübertragung, über in die Außenwand einbindende Trennbauweise, zwischen schutzbedürftigen Räumen zu ermitteln. Die Ausbildung der Stoßstelle hat hier eine entscheidende Bedeutung. Es ist zwischen starr verbundenen und entkoppelten Anschlüssen zu unterscheiden.

1.5 Brandschutz

Die einzuhaltenden Brandschutzanforderungen, die durch Baustoff- und Feuerwiderstandsklassen gekennzeichnet sind, ergeben sich in Abhängigkeit von der vorhandenen Gebäudeklasse ebenfalls aus den jeweiligen Landesbauordnungen. Die notwendige Klassifizierung für die Baustoffe ist nach DIN EN 13501 [18] vorzunehmen und die Bemessung des KS-Mauerwerks für den Brandfall nach DIN EN 1996-1-2/NA [2] zu führen.

Zusätzlich ist auch die Vermeidung einer Brandausbreitung über die Fassade konstruktionsabhängig nachzuweisen.

Da es sich bei Kalksandsteinen um einen nicht brennbaren Baustoff der Baustoffklasse A1 handelt, können zweischalige KS-Außenwände, die ohne geplante Luftschicht mit nicht brennbaren Dämmstoffen ausgeführt werden, in allen Gebäudeklassen errichtet werden.

2. Konstruktionsübersicht

In Abhängigkeit von der zu lösenden Bauaufgabe stehen unter Verwendung von KS-Mauerwerk eine Vielzahl von Konstruktionsmöglichkeiten zur Verfügung (Bild 1 und Bild 2). Die Auswahl richtet sich gem. GEG [9] nach der vorgesehenen Nutzung:

- normal beheiztes Gebäude mit Norm-Innentemperatur $\geq 19\text{ °C}$
- niedrig beheiztes Gebäude mit Norm-Innentemperaturen von 12 °C bis $< 19\text{ °C}$

Bei Außenwänden für normal beheizte Gebäude werden unterschiedliche Funktionsebenen (Trageebene aus KS-Mauer-

1.6 Dauerhaftigkeit

KS-Außenwände werden aufgrund der konsequent verfolgten Funktionstrennung des Wandaufbaus neben sämtlichen zuvor beschriebenen Anforderungen auch Beanspruchungen aus UV-Strahlung oder chemischem Angriff dauerhaft zuverlässig gerecht. Sie erfüllen die ihnen zugewiesenen Funktionen über die Lebensdauer eines Gebäudes und sind daher langfristig gebrauchstauglich. KS-Außenwand-Konstruktionen sind als nachhaltig zu bewerten

werk, Dämmebene und Ebene des Witterungsschutzes) errichtet.

Für normal beheizte, neu zu errichtende Gebäude mit Anforderungen an den Wärmeschutz stehen folgende KS-Außenwandkonstruktionen zur Verfügung (Bild 1):

- zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und mit/ohne Luftschicht,
- einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung (Wärmedämmverbundsystem, hinterlüfteter Außenwandbekleidung, bei erdberührten Wänden mit Perimeterdämmung).

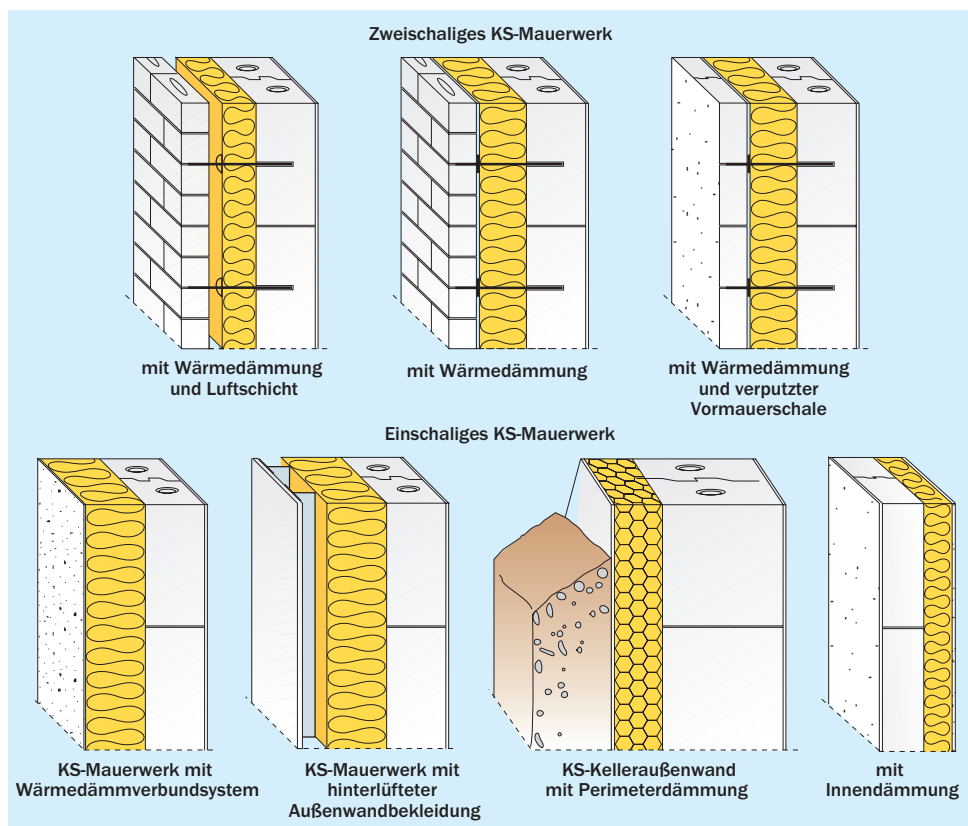


Bild 1 KS-Außenwandkonstruktionen für normal beheizte Gebäude

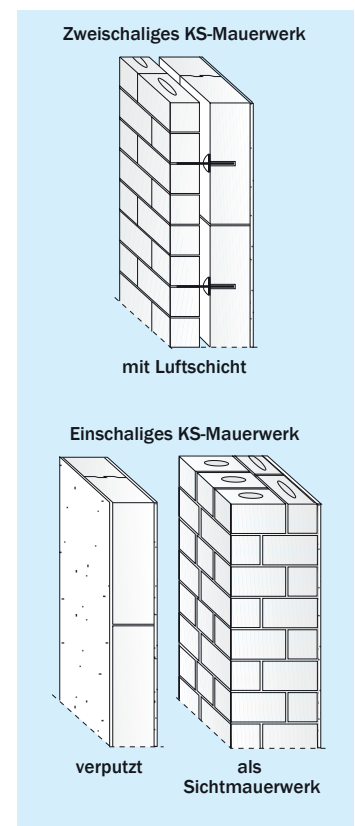


Bild 2 KS-Außenwandkonstruktionen für niedrig oder nicht beheizte Gebäude

Sollen bestehende Gebäude umfassend umgebaut und energetisch modernisiert werden, können neben den bereits beschriebenen Varianten Außenwände auch auf der Innenseite schadenfrei gedämmt werden. Innendämmungen bieten sich bei Denkmalschutzauflagen an das äußere Erscheinungsbild oder sonstigen baulichen Sonderfällen an.

Bei Gebäuden mit nur geringen oder ohne Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz können folgenden KS-Außenwandkonstruktionen zur Ausführung kommen (Bild 2):

- zweischaliges KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung mit Luftschicht
- einschaliges KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung (verputzt, Sichtmauerwerk)

3. Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung

3.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

3.1.1 Systemaufbau

Der Aufbau von zweischaligem KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und mit/ohne Luftschicht folgt der klaren funktionalen Trennung zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz: die tragende KS-Innenschale gewährleistet die statischen und mit dem Innenputz auch die luft/winddichten Funktionen, die Dämmebene den Wärmeschutz und die äußere (verputzte oder nicht verputzte) KS-Verblendschale den Witterungsschutz (Bild 3 und Bild 4).

3.1.2 Standsicherheit

3.1.2.1 Tragende Innenschale

Die Standsicherheit einer tragenden KS-Innenschale wird aufgrund der hohen Druckfestigkeiten von Kalksandsteinen ab einer Dicke von 11,5 cm erfüllt. Die Bemessung erfolgt entweder im vereinfachten Verfahren nach DIN EN 1996-3/NA [4] oder im genauen Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA [1].

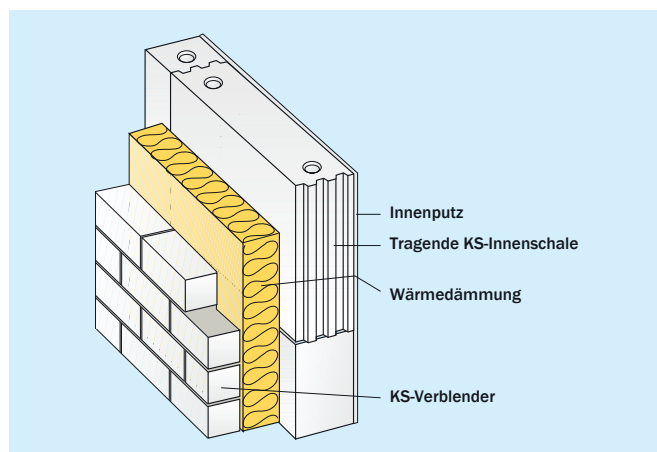


Bild 3 Systemaufbau zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und Verblendschale

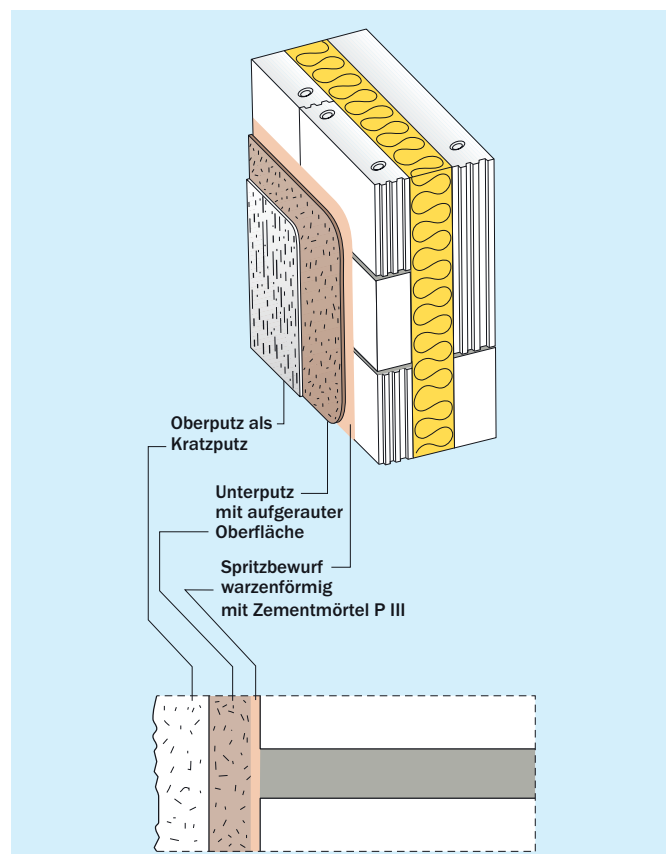


Bild 4 Systemaufbau zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und verputzter Verblendschale

3.1.2.2 Anker

Die Verbindung der tragenden Innenschale und der nicht tragenden Außenschale erfolgt über Anker aus nicht rostendem Stahl, die für diesen Anwendungsbereich nach DIN EN 1996-2/NA [3] bauaufsichtlich zugelassen sein müssen. Die notwendige Anzahl der zu verwendenden Anker ist abhängig von der Gebäudehöhe und der Lage des Gebäudes in Bezug auf die regionale Windanströmung sowie die hieraus resultierende Windlast nach DIN 1055-4 [5] (Tafel 1 und Bild 6).

An allen freien Rändern (von Öffnungen, an Gebäudeecken, entlang von Dehnungsfugen und an den oberen Enden der Außenschalen) sind zusätzlich drei Drahtanker je Meter Wandlänge anzuordnen.

Bei einem nach Norm begrenzten Abstand beider Schalen für Drahtanker von 15 cm soll der vertikale Ankerabstand maximal 50 cm, der horizontale Abstand maximal 75 cm betragen. Bei größeren Schalenabständen (bis 25 cm) müssen hierfür zugelassene Luftsichtanker aus profiliertem Flachstahl verwendet werden. Luftsichtanker werden beim Aufmauern in die Lagerfugen eingelegt.

Bei Elementmauerwerk sollten Dübelanker verwendet werden, die in die tragende KS-Innenschale eingedübelt werden. Dies bietet den Vorteil, dass die Anker gleichmäßig über die Fläche verteilt und Schalenabstände bis 40 cm realisiert werden können (Bild 5 und 7).

Häufig werden auf die Anker zur Fixierung des vor der tragenden Innenschale eingebauten Dämmstoffs Klemmscheiben aufgeschoben. Die Anker selbst dürfen keinesfalls ein Gefälle zum Dämmstoff hin aufweisen, damit das hinter die Verblendschale gelangende Niederschlagswasser keine Durchfeuchtungerscheinungen hervorrufen kann.

Tafel 1 Mindestanzahl Anker je m² Wandfläche nach DIN EN 1996-2/NA [3]

Gebäudehöhe	Windzonen 1 bis 3, Windzone 4 Binnenland	Windzone 4 Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	Windzone 4 Inseln der Nordsee
$h \leq 10$ m	7 ¹⁾	7	8
$10 \text{ m} < h \leq 18$ m	7 ²⁾	8	9
$18 \text{ m} < h \leq 20$ m	7	8 ³⁾	

¹⁾ In Windzone 1 und Windzone 2 Binnenland: 5 Anker/m²
²⁾ In Windzone 1: 5 Anker/m²
³⁾ Ist eine Gebäudegrundrisslänge $< h/4$: 9 Anker/m²

Windzonen nach DIN EN 1991-1-4/NA
 An allen freien Rändern (von Öffnungen, entlang von Dehnungsfugen und an den oberen Enden der Außenschalen) sind zusätzlich zu dieser Tafel drei Drahtanker je m Randlänge anzuordnen.

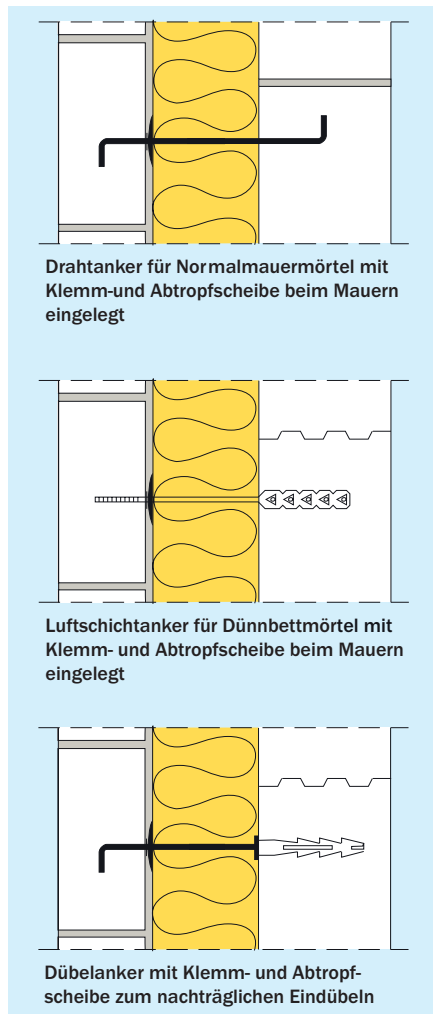


Bild 5 Varianten der Verankerung

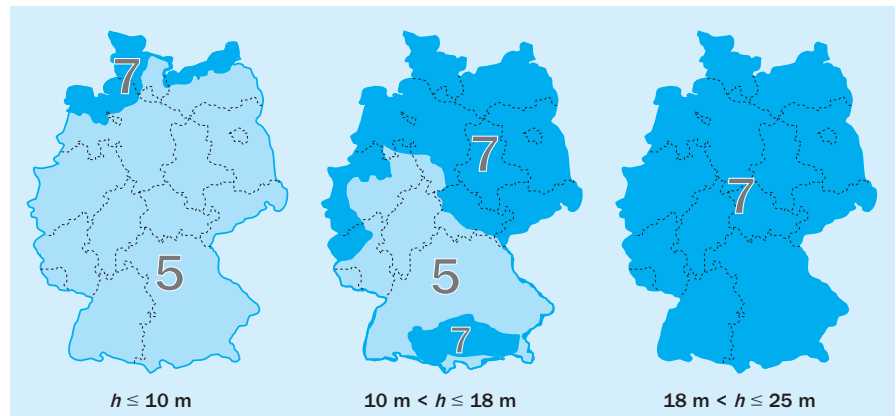


Bild 6 Erforderliche Ankeranzahl in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und der Windlastzone

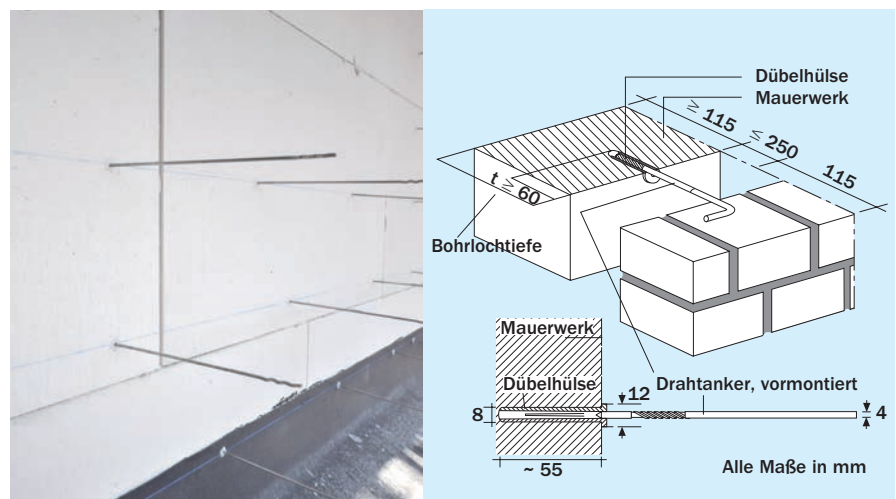


Bild 7 Dübelanker

Tafel 2 Luftschichtanker zum Einlegen beim Aufmauern

Schalenabstand	100 bis 170 mm	120 bis 200 mm	120 bis 250 mm	> 200 bis 250 mm
Tragschale	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel M 5 oder M 10 oder KS-Plansteine/KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel			
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-633 (Bever GmbH) ¹⁾ Z-17.1-1192, (H & R GmbH)	Z-17.1-888 ²⁾ (Bever GmbH)	Z-17.1-1198, (H & R GmbH)	Z-17.1-1155 ²⁾ (Bever GmbH); Z-17.1-1168 (Gebr. Bodegraven bv)

¹⁾ Vormauerschale nur in Normalmauermörtel M 5 zulässig

²⁾ Auch für Vormauerschalen aus Plan- oder Fasensteinen in Dünnbettmörtel zulässig

Bei Anforderungen an den Brandschutz (Gebäudeklasse nach Landesbauordnung) sind ggf. vorhandene Einschränkungen zur Verwendung von Dämmstoffen in den abZ zu beachten.

Tafel 3 Luftschichtanker zum Eindübeln in die Tragschale

Max. Schalenabstand	> 150 mm bis 200 mm	> 200 mm bis 250 mm	> 200 mm bis 400 mm
Tragschale	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel \geq M 5, oder mit Dünnbettmörtel		
Ankerdurchmesser	4 mm	4 mm	5 mm
Bohrerdurchmesser	8 mm	8 mm	8 mm
Bohrlochtiefe	≥ 60 mm	≥ 60 mm	≥ 60 mm
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-825 (Bever GmbH) Z-17.1-822 (H & R GmbH)	Z-17.1-1138 (Bever GmbH) Z-17.1-1142 (H & R GmbH)	Z-21.2-1009 (Bever GmbH)

Bei Anforderungen an den Brandschutz (Gebäudeklasse nach Landesbauordnung) sind ggf. vorhandene Einschränkungen zur Verwendung der Dämmstoffe und Dübel in den abZ zu beachten.



3.1.2.3 Verblendschale und Abfangungen

Da die Verblendschale selbst nicht tragend konzipiert ist und somit nur ihre Eigenlast trägt, muss ihre Höhe nach DIN EN 1996-2/NA [3] durch Abfangungen begrenzt werden. Die maximal zulässige Gesamthöhe einer Verblendschale und die maximal zulässigen vertikalen Abstände ihrer notwendigen Abfangungen richten sich nach der Dicke der Außenschale und ihrem Überstand am Fußpunkt (Tafel 4 und Bild 8).

Üblicherweise werden Abfangungen im Bereich der Deckenaufleger positioniert. Die Bemessung erfolgt von den jeweiligen Herstellern im Rahmen einer typenbezogenen statischen Berechnung.

3.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Tauwasser im Bauteilquerschnitt sowie auf der inneren Wandoberfläche ist bei zweischaligen Außenwänden aufgrund der bauphysikalischen Schichtenfolge ausgeschlossen. Aus diesem Grund ist ein Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 [7] entbehrlich.

Zweischalige KS-Außenwandkonstruktionen folgen dem sog. zweistufigen Abdichtungsprinzip: der Schutz vor Niederschlägen und das Ableiten des auf die Fassade treffenden Regens erfolgt an bzw. auf der Rückseite der äußeren Schale. Die Aufgabe der erforderlichen Wind- und Luftdichtheit wird in der Regel vom Innenputz übernommen. Alternativ ist eine Stoßfugenvermörtelung erforderlich. Daher sind solche Wandkonstruktionen nach DIN 4108-3 [7] bei der Bewertung des Schlagregenschutzes für die höchste Beanspruchungsgruppe III gut geeignet.

In die Verblendschale selbst durch Kapillarität eingedrungenes Wasser trocknet nach dem Regenereignis auf demselben Weg und nach Enden des Kapillarzuges weiter durch Diffusion wieder ab. Jedoch sind zur Vermeidung übermäßiger Auffeuchtung und hiermit ggf. verbundenen Frostabplatzungen frostwiderstandsfähige KS-Verblender bzw. KS-Vormauersteine zu verwenden. Fugen von Verblendschalen sind ebenfalls zur Vermeidung zu großer Auffeuchtungen und Gewährleistung eines ungehinderten Wasserabflusses an der Oberfläche im Fugenglattstrich entweder bündig mit der Steinoberfläche oder höchstens kon-

Tafel 4 Höhenabstand der Abfangung bei Verblendschalen

Dicke der Außenschale	Maximale Höhe über Gelände	Maximaler Überstand über Auflager	Höhenabstand der Abfangung
$9,0 \text{ cm} \leq d < 10,5 \text{ cm}$	$\leq 20,0 \text{ m}$	$\leq 1,5 \text{ cm}$	$\leq \text{ca. } 6,0 \text{ m}$
$10,5 \text{ cm} \leq d < 11,5 \text{ cm}$	$\leq 25,0 \text{ m}$	$\leq 1,5 \text{ cm}$	$\leq \text{ca. } 6,0 \text{ m}$
$d = 11,5 \text{ cm}$	unbegrenzt	$\leq 3,8 \text{ cm} \approx d/3$	$\leq 2 \text{ Geschosse}$
$d = 11,5 \text{ cm}$	unbegrenzt	$\leq 2,5 \text{ cm}$	$\leq \text{ca. } 12,0 \text{ m}$

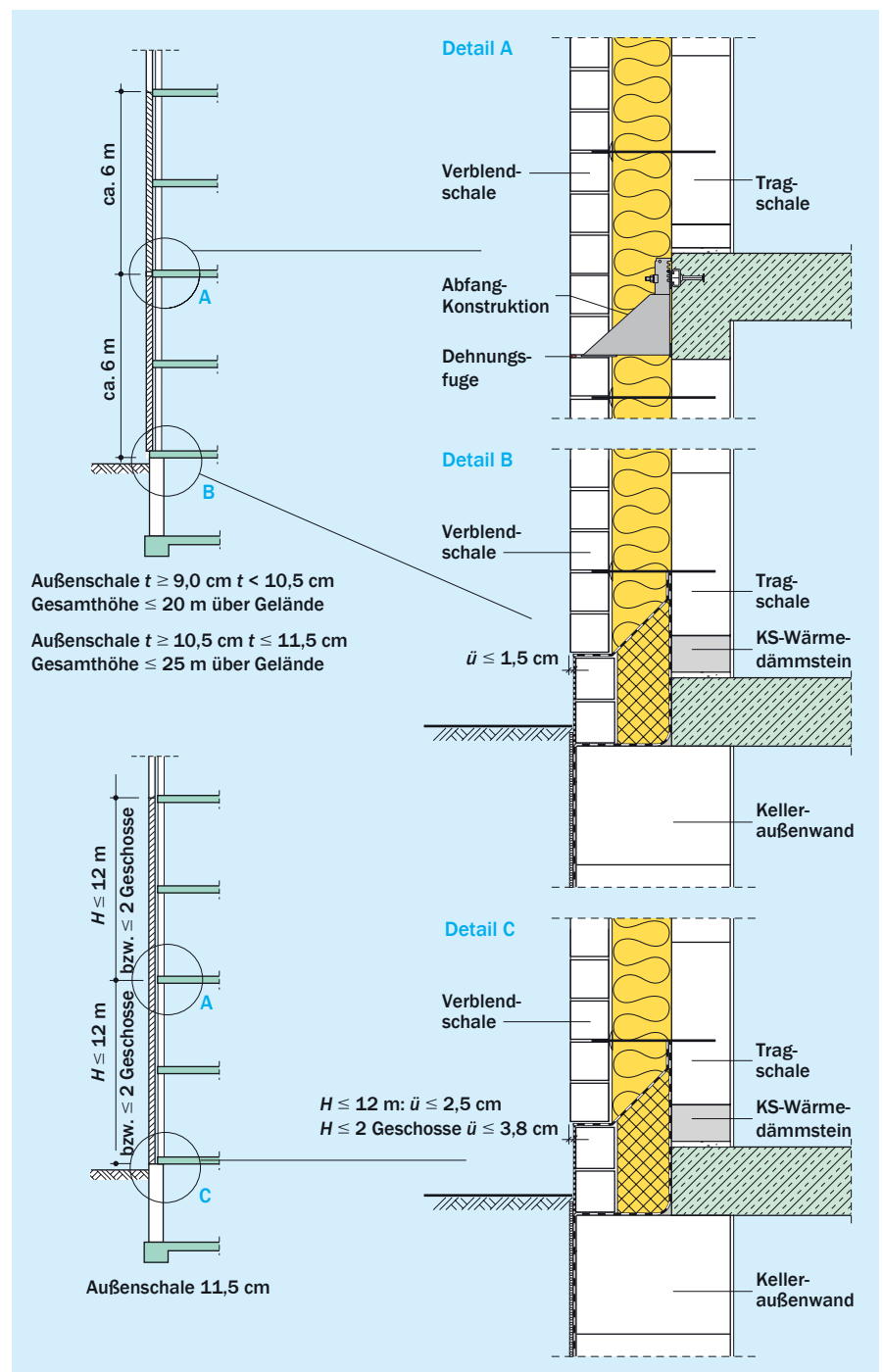


Bild 8

Randbedingungen zur Ausführung von zweischaligen Außenwänden nach DIN EN 1996-2/NA [3]

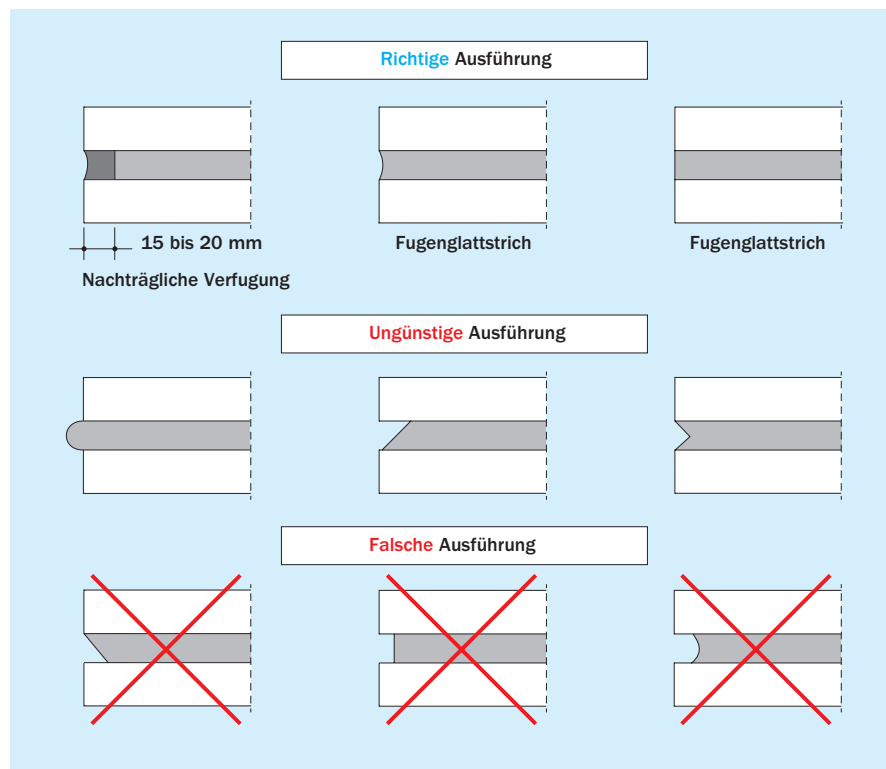


Bild 9 Ausführung von Mörtelfugen bei Verblendschalen

kav zurückliegend auszuführen. Dies gilt auch bei nachträglicher Verfugung (Bild 9).

3.1.4 Wärmeschutz

Alle für zweischalige Außenwände verwendbaren Dämmstoffe müssen für diesen Anwendungsbereich als Hohlraumdämmung von zweischaligen Wänden oder Kerndämmung (WZ nach DIN 4108-10 [12]) über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Bauartgenehmigung geregelt sein.

Dämmstoffe sind vielfältig verfügbar:

- Mineralwolle (MW)
- expandiertes Polystyrol (EPS)
- extrudiertes Polystyrol (XPS)
- Polyurethan (PUR)
- Polyisocyanurat (PIR)
- Phenolharz (PF)
- expandiertes Blähpelrite (EPB)
- Holzwolle (WW)
- Holzfasern (WF)
- Schaumglas (CG)

In Abhängigkeit vom jeweiligen Produkt können sie als Platten oder Matten am Untergrund befestigt oder als Flocken oder Granulat in den Schalenzwischenraum lose eingebracht bzw. eingeblasen werden.

Wird der Schalenzwischenraum vollständig mit Dämmstoff einer sehr geringen Wärmeleitfähigkeit gefüllt, sind auch hochwärmedämmende Bauweisen im Passivhausstandard realisierbar. Die Berechnung erfolgt nach DIN 4108-2 [6] und umfasst den gesamten Wandquerschnitt zzgl. eines äußeren Wärmeübergangswiderstands R_{se} von $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ und eines inneren Wärmeübergangswiderstands R_{si} von $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. Hier ist auch der handwerklich notwendige, Fingerspalt mit $R = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ zu berücksichtigen (Tafel 5).

Entlang offener Stoßfugen können bei Dämmstoff-Platten/Matten Wärmeverluste auftreten. Strömungstechnisch wirken sich diese miteinander verbundenen Spalten ab einer Breite von 5 mm negativ auf den Wärmeschutz aus DIN EN ISO 6946 [13]. Lücken in der Dämmebene können durch knirsch verlegte Platten (ggf. mit Stufenfalz oder Nut und Feder) oder gut verdichtete Hohlräume bei losen Dämmstoffen vermieden werden.

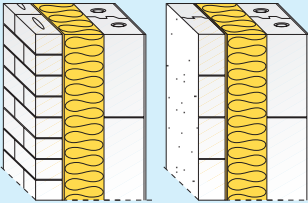
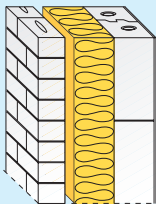
Zweilagig eingebaute Dämmschichten bieten eine hohe Sicherheit gegen Hinterströmung.

Auch Anker durchdringen die Dämmebene und müssen als punktuelle Wärmebrücke über den punktförmigen Wärmebrückenverlustkoeffizienten χ ermittelt werden. Sie sind ab einer Verschlechterung des U-Werts nach DIN 4108-2 [6] von $0,04 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ zu berücksichtigen.

Werden zweischalige KS-Außenwände mit Luftschicht konstruiert, muss diese mindestens 60 mm betragen. Sie darf bis auf 40 mm vermindert werden, wenn der Mauermörtel mindestens an einer Hohlraumseite abgestrichen wird. Dabei darf der Hohlraum nicht von herunterfallenden Mörtel verstopft werden. Strömungstechnisch sind diese Luftschichten – je nach Größe der Lüftungsöffnungen und Dicke der Schicht – nach DIN EN ISO 6946 [13] als schwach oder stark belüftet zu bewerten. Bei den üblicherweise stark belüfteten Luftschichten dürfen die außerhalb der Luftschicht befindlichen Bauteilschichten nicht bei der Ermittlung des Wärmeschutzes berücksichtigt werden. Außerdem entspricht dann der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} dem inneren Wärmeübergangswiderstand R_{si} von $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Tafel 5). Zur Optimierung der möglichen Energieeinsparung wird der Schalenzwischenraum jedoch meist vollständig gedämmt.

Neben der bei Außenwandkonstruktionen aus wärmetechnischen Gründen erforderlichen Luftdichtheit dient die massive Innenschale mit ihrer hohen spezifischen Wärmekapazität als optimaler Wärmespeicher. Somit tragen KS-Wandkonstruktionen zu behaglichem Wohnen bei und helfen, eine Überhitzung von Räumen zu vermeiden. Diese Wärme speichernden Eigen-

Tafel 5 U-Werte von zweischaligem KS-Mauerwerk

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt 0,115 m KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾ oder verputzte KS-Vormauerschale $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	55,0	24	0,09	0,09	0,12	0,13	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.



schaften wirken sich insbesondere im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz aus. Helle Verblendschalenoberflächen absorbieren zudem weniger Sonneneinstrahlung als sie reflektieren. Sie unterliegen daher einer geringeren Aufheizung als dunklere Fassaden.

3.1.5 Schallschutz

Als Masse-Feder-Masse-Systeme erfüllen zweischalige KS-Außenwände aufgrund der großen flächenbezogenen Masse der beiden Mauerwerksschalen einen guten bis sehr guten Schallschutz gegen Außenlärm. Der Nachweis erfolgt in Anlehnung an DIN 4109 [15].

Bei der Ermittlung der Flankenschalldämmung zwischen schutzbedürftigen Räumen innerhalb des Gebäudes wird nur die tragende Innenschale der Außenwand berücksichtigt. Die äußeren Schichten werden vernachlässigt. Erheblichen Einfluss auf den erreichbaren Schallschutz insgesamt, durch den Übertragungsweg entlang der Flanke, hat daher die Ausbildung der Stoßstelle zwischen Außen- und Innenwand. Stoßstellen können im Verband gemauert, stumpf gestoßen oder durchgeführt werden. Als schalltechnisch günstig hat sich eine Durchführung der Wohnungstrennwand durch die Außenwand erwiesen.

Grundsätzlich wird ein KS-Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung verputzt, um einen direkten Schalldurchgang durch offene Fugen zu vermeiden. Hierzu eignet sich ein einseitig, mindestens in einer Schichtdicke von 10 mm aufgetragener Putz.

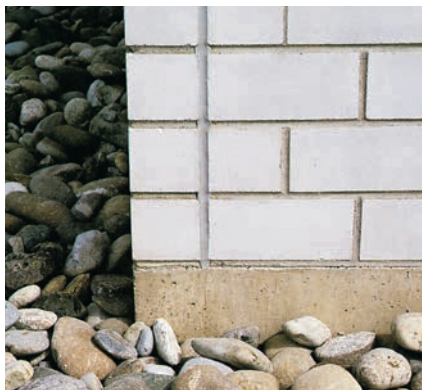


Bild 10 Dehnungsfuge an einer Gebäudeecke mit Dichtstoff verschlossen

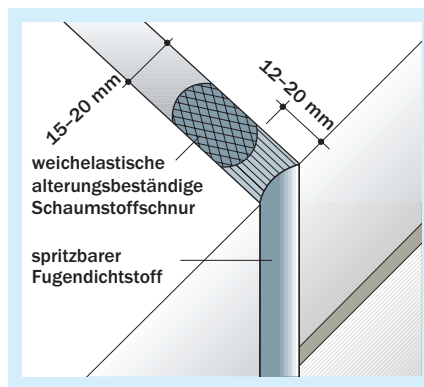


Bild 11 Dehnungsfuge mit Dichtstoff verschlossen



Bild 12 Dehnungsfuge an Gebäudeaußenecke

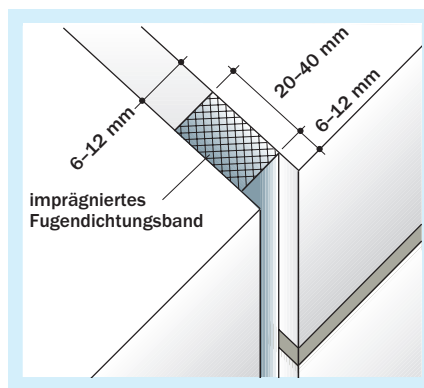


Bild 13 Dehnungsfuge mit vorkomprimiertem Dichtband verschlossen

3.1.6 Brandschutz

Auch Anforderungen des baulichen Brandschutzes werden bei der Verwendung von nicht brennbaren Materialien eingehalten.

3.2 Funktionsangepasste Detailplanung

3.2.1 Dehnungsfugen

Verblendschalen verformen sich unabhängig von der tragenden KS-Innenschale. Sie unterliegen neben den austrocknungsbedingten Verformungen zu Beginn der Gebäudestandzeit auch thermisch bedingten Längenänderungen. Während die austrocknungsbedingten Verformungen auch in der tragenden KS-Innenschale auftreten, spielen thermisch bedingte Längenänderungen für die Verformung des tragenden Mauerwerks keine bedeutende Rolle. Damit keine rissverursachenden Zwängungsspannungen zwischen beiden Schalen auftreten, müssen nach DIN EN 1996 [3] in Verblendschalen Dehnungsfugen in horizontaler und vertikaler Richtung vorgesehen werden. Dieser Sachverhalt trifft auch auf verputzte Vormauerschalen zu.

Empfehlenswert ist der Einbau von vertikalen Dehnungsfugen daher an folgenden Stellen:

- bei zusammenhängenden Bauteillängen von mehr als 6-8 m
- an Gebäudeecken und -kanten
- an großen Fenster- und Türöffnungen in der Verlängerung der Laibungen

Die Dehnungsfugenausbildung kann in unterschiedlichen Varianten erfolgen:

- offenbleiben
- mit einem hinterfüllten Dichtstoff verschlossen werden nach DIN 18540 [18]
- mit einem vorkomprimierten, imprägnierten Dichtband verschlossen werden nach DIN 18542 [19]
- mit einem Abdeckprofil verschlossen werden

3.2.2 Maßnahmen zur Rissvermeidung – Abfangungen und konstruktive Überbrückung von Mauerwerksöffnungen

Um die vorhandene Last nicht zu groß werden zu lassen, muss nach DIN 1996-2 [3] zum einen die Gesamthöhe der Verblendschale begrenzt werden und zum anderen die Verblendschale in regelmäßigen Abständen abgefangen werden. Je nach vorhandener Verblendschalendicke sind auch unbegrenzte Gesamthöhen realisierbar. In jedem Fall sind aber Abfangungen zwischen 6 und 12 m Höhenabstand erforderlich. Die im Regelquerschnitt eingebauten Konsolauflagerungen können als

Einzelkonsolen oder lineare Winkelkonsolen konzipiert werden (Bild 14 und Bild 16).

Zur Vermeidung von Rissbildungen zwischen dem Regelwandquerschnitt und den Brüstungsbereichen unter größeren Fensteröffnungen können folgende Maßnahmen ergriffen werden: In Verlängerung der Fensterlaibung ist auf eine möglichst halbscheinige Überbindung der Verblendschale zu achten. Zudem kann in den rissempfindlichen Bereichen eine konstruktive Lagerfugenbewehrung unterhalb der Öffnung angeordnet oder eine fachgerecht dimensionierte Dehnungsfuge ausgebildet werden (Bild 15).

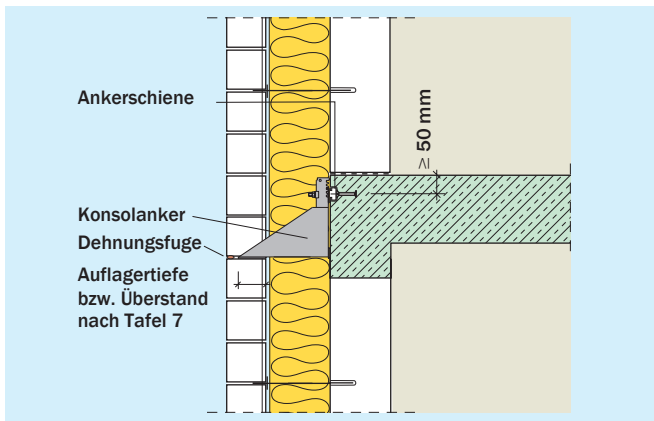


Bild 14 Zwischenabfangung mit Konsolanker

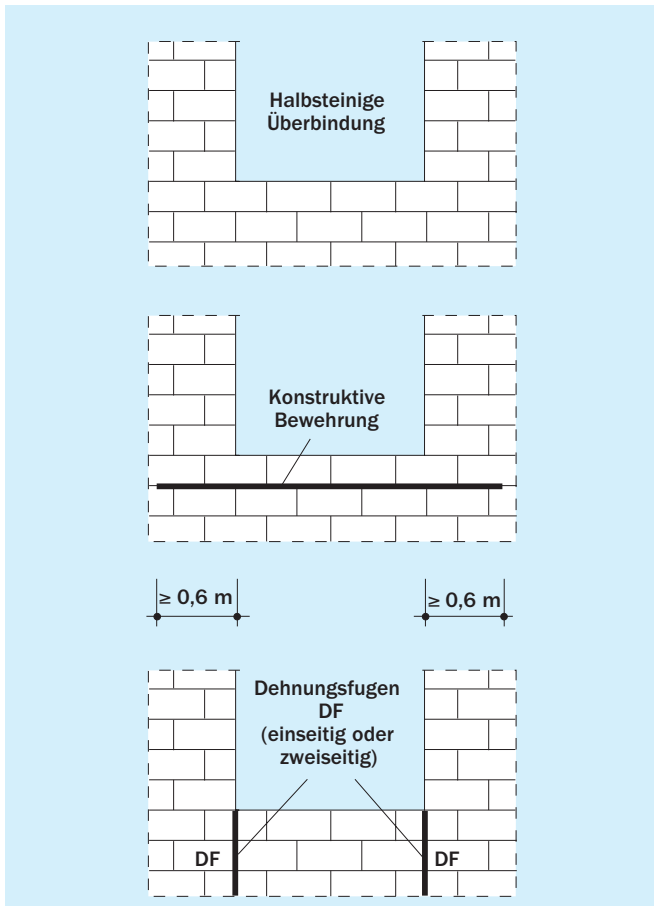


Bild 15 Rissvermeidung im Brüstungsbereich von Verblendschalen

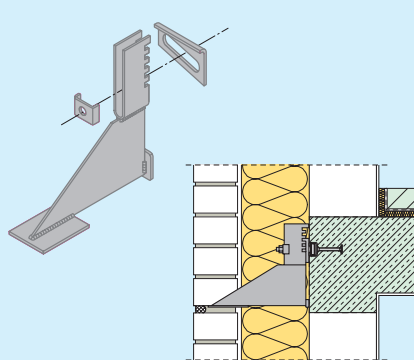
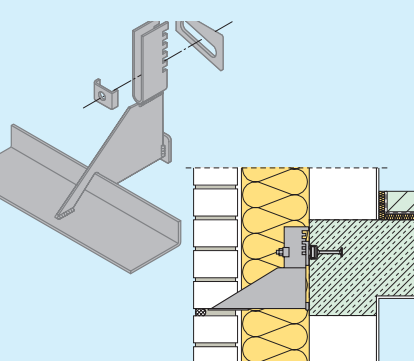
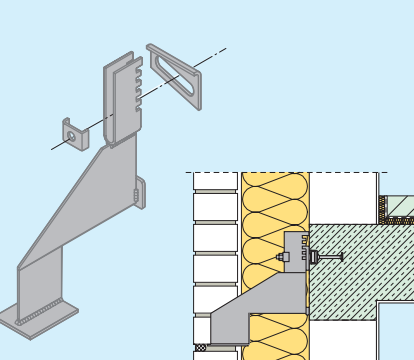
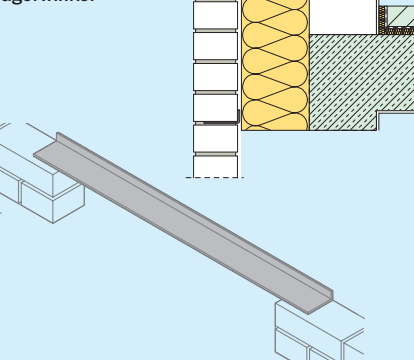
Verankerungen für Verblendmauerwerk	Einsatzbereich
Einzelkonsole 	Höhenjustierbare Abfangung von geschlossenen Wandflächen
Winkelkonsole 	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen
Einzelkonsolanker mit Höhenversatz 	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen mit Höhenversatz
Auflagerwinkel 	Einfache Abfangung über Öffnungen, ohne Verschluss des Schalenraums

Bild 16 Übersicht unterschiedlicher Abfangkonstruktionen

3.2.3 Fußpunktabdichtungen und Entwässerungsöffnungen

Verblendschalen sind nicht wasserdicht und können daher von Niederschlagswasser zumindest in geringen Mengen hinterlaufen werden. Das eingedrungene Wasser tropft auf der Schalenseitenrückseite nach unten ab und muss dort nach außen abgeleitet werden.

Diese Funktion übernimmt eine fachgerecht eingebaute Fußpunktabdichtung, die an der tragenden Hintermauerschale lagesicher verwahrt und außen bis nahezu an die Vorderkante der Verblendschale geführt wird. Da der obere Abdichtungsrand an der tragenden Hintermauerschale nicht hinterläufig ist, kann eine zusätzliche dauerhaft mechanische Fixierung nach DIN 18533 [20] dort entfallen. Auch das früher übliche Einlegen der Abdichtungsbahn in eine Lagerfuge des Hintermauerwerks ist aus demselben Grund entbehrlich. Baupraktisch ist dies bei Verwendung von Dünnbettmörtel und großformatigen Elementen auch kaum möglich (Bild 17).

Beim Einbau der Fußpunktabdichtung mit geplanter Entwässerung unterhalb der Geländeoberkante muss nach DIN 18533 [20] darauf geachtet werden, dass der außen angrenzende Baugrund eine ausreichende Versickerungsfähigkeit zur Ableitung anfallenden Wassers aufweist, um kapillar aufsteigende Feuchte in der Verblendschale zu vermeiden. Zudem ist darauf zu achten, dass die Fußpunktabdichtung keinen „Wassersack“ bildet. Außerdem sollten die Längsstöße der Abdichtungsbahnen zur Vermeidung von in den Untergrund sickern den Wassers verklebt werden.

Der Einbau von Entwässerungsöffnungen als offene Stoßfugen der Verblendschale erhöht die Entwässerungsleistung nur unwesentlich. Auch eine Belüftungsfunktion der offenen Stoßfugen ist nicht belegt. Daher wurden die in der zurückgezogenen Mauerwerksnorm DIN 1053 enthaltenen Flächenangaben für Entwässerungsöffnungen nicht in den DIN EN 1996 aufgenommen. Der ehemals zwingenden Einbauvorschrift ist also einer Einbaumöglichkeit gewichen.

3.2.4 Wärmedämmung und Feuchteschutz im Sockelbereich

Zur Minimierung der sonst am Gebäudesockel vorhandenen Wärmebrücke ist der Schalenzwischenraum mit feuchteunempfindlicher Wärmedämmung/Perimeterdämmung auszufüllen.

Soll die Außenseite der Verblendschalenfläche unterhalb der Fußpunktabdichtung zusätzlich gegen Spritzwasser und/oder gegen eine Beanspruchung aus Tausalz geschützt werden, kann ein wasserabweisender Sockelputz mit einer mineralischen Dichtungsschlämme aufgetragen werden.

Der Einbau eines Kiesrandstreifens kann zur Vermeidung einer Beanspruchung aus Spritzwasser ebenfalls hilfreich sein, ist aber nur dann zielführend, wenn unter der Geländeoberfläche auch versickerungsfähiger Baugrund anschließt. Ist dies nicht der Fall, sollte auf den Kiesrandstreifen verzichtet werden. In jedem Fall ist zur Vermeidung unnötig hoher Wasserbeanspruchungen nach DIN 18533 [20] darauf zu achten, dass das angrenzende Gelände ein Gefälle vom Gebäude weg aufweist.

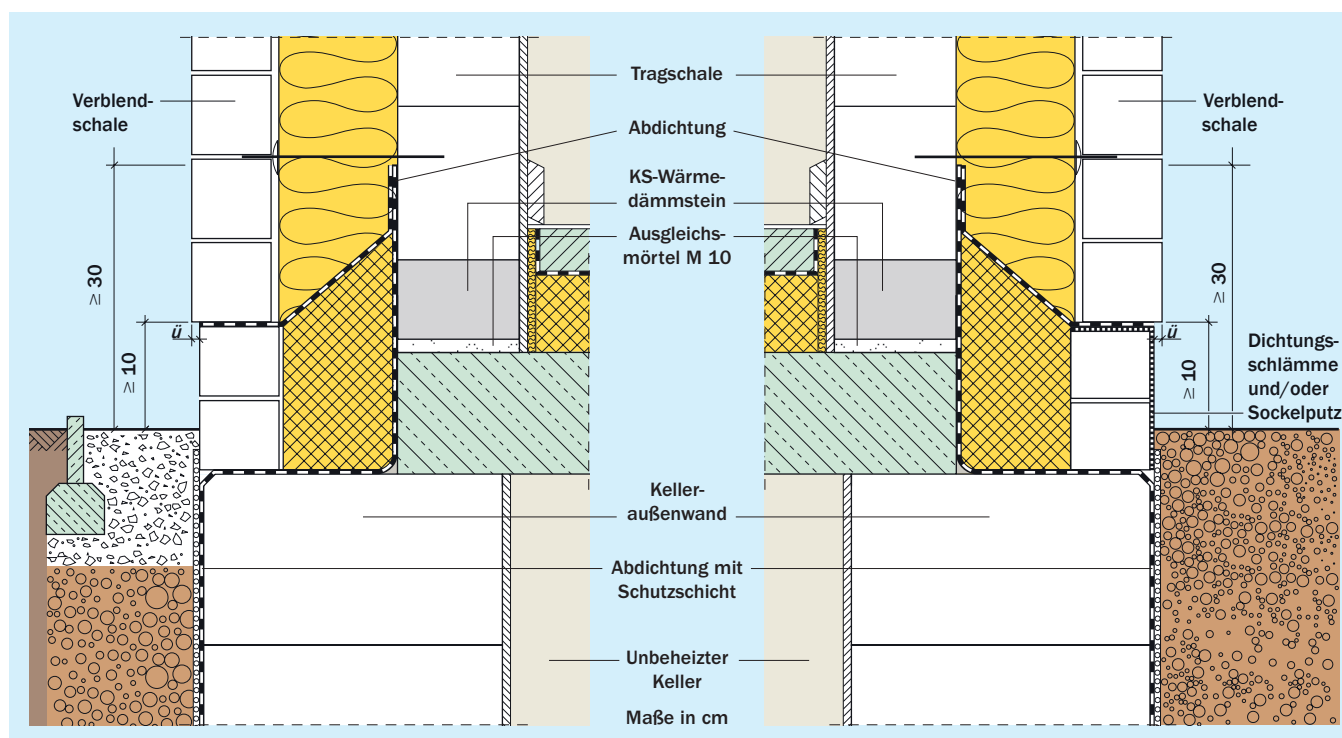


Bild 17 Fußpunktabdichtung Oberkante Gelände und unter Geländeanschluss

4. Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem

4.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

4.1.1 Systemaufbau

Am Aufbau von KS-Außenwänden mit Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) ist die funktionale Trennung des Systems zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz gut ablesbar: das tragende KS-Mauerwerk gewährleistet die statischen und mit dem Innenputz auch die luft-/winddichtenden Funktionen, die Dämmebene den Wärmeschutz und der Außenputz den Witterungsschutz (Bild 18).

Die möglichen Systemaufbauten sind aufgrund der zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten (Befestigungen, Wärmedämmstoffe, Unter- bzw. Armierungsputz und Oberputz) vielfältig (Bild 19). Jede der möglichen Varianten muss aber als Gesamtsystem für den jeweiligen Anwendungsbereich durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin (DIBt) in einer ETA (Europäisch technische Bewertung) oder einem AbZ/aBG (Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/allgemeine Bauartgenehmigung) hinsichtlich der Verwendbarkeit geprüft und zugelassen werden. Ein Austausch einzelner Komponenten abweichend von der erteilten Zulassung ist nur dann möglich, wenn hierüber eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erteilt wurde. In der Zulassung werden die einzuhaltenden Anforderungen an Untergrund, Befestigung sowie brand-, wärme- und schallschutztechnische Eigenschaften formuliert und die Einzelheiten des Putzaufbaus geregelt.

Varianten der Bausätze eines Wärmedämmverbundsystems beinhaltet DIN EN 17237 [29] als Nachfolgenorm von DIN EN 13499 [30] und DIN EN 13500 [31], die aber keine baupraktischen Hinweise zur Verarbeitung gibt. Diese sind in DIN 55699 [32] zu finden.

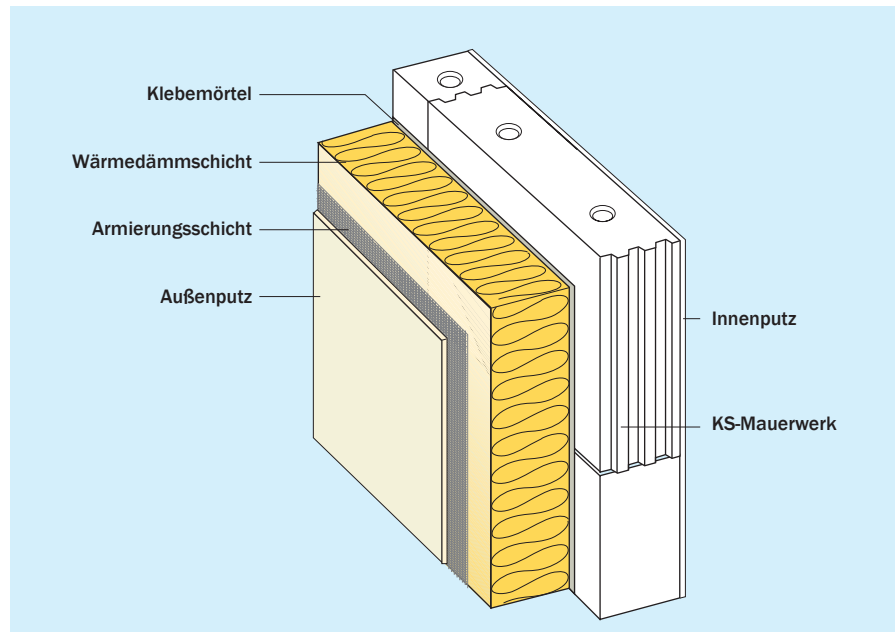


Bild 18 Systemaufbau einer KS-Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem

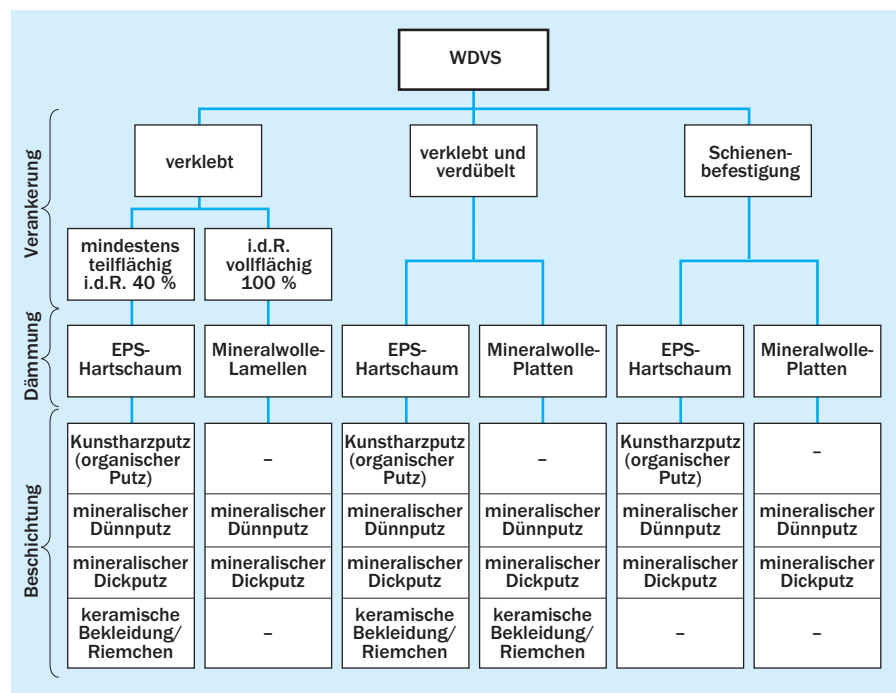


Bild 19 Übersicht der marktüblichen Wärmedämmverbundsysteme

4.1.2 Standsicherheit

4.1.2.1 Tragendes KS-Mauerwerk

Der Tragfähigkeitnachweis der KS-Mauerwerksinnenschale selbst erfolgt nach den bereits beschriebenen Verfahren nach DIN EN 1996/NA [1].

Grundsätzlich gilt nach DIN 55699 [32], dass der Untergrund sauber, trocken, staub- und fettfrei sein muss. Auch die Ebenheit des Untergrundes ist zu prüfen. Die Abweichung darf bei verklebten Systemen max. 1 cm/m Bauteillänge, bei verklebten und verdübelten Systemen 2 cm/m Bauteillänge und bei

Schienenbefestigung 3 cm/m Bauteillänge betragen. Diese zulässigen Abweichungen sind allerdings auch auf einen Meter Messpunkt Abstand zu beziehen und nicht als Aufadditionen über Gesamtwandlängen.

4.1.2.2 Befestigungsarten

Der Nachweis der Standsicherheit des Wärmedämmverbundsystems wird über die Einhaltung der systembezogenen Zulassung erbracht und für den konkreten Anwendungsbereich

definiert. In Abhängigkeit von der Ebenheit und der Tragfähigkeit des Untergrundes und der Querkzugfestigkeit der Wärmedämmung ist die Befestigungsart des Systems zu bestimmen: Es kommen verklebte, verklebte und verdübelte und über Schienensysteme befestigte Systeme zur Ausführung.

Sollen die Dämmplatten am Untergrund verklebt werden, kann dies voll- oder teilflächig erfolgen. Der Nachweis ist durch eine Haftzugprüfung zu erbringen, bei der eine Abreißfestigkeit von $0,08 \text{ N/mm}^2$ erreicht werden muss. Üblich ist bei EPS-Dämmplatten eine Teilflächenverklebung im Randwulst-Punkt-Verfahren auf der Dämmplattenrückseite oder mäanderartig auf dem Untergrund (Bild 20). Mindestens ist ein Klebeflächenanteil von 40 % erforderlich. Sollen Mineralwolle-Lamellen-Platten verwendet werden, sind diese vollflächig zu verkleben. Hierzu ist der Kleber auf den werkseitig beschichteten Rückseiten der Dämmplatten einzuarbeiten, je nach Zulassung ist auch ein teilflächiger Klebemörtelauftrag auf dem Untergrund (Anteil mind. 50 %) möglich. Eine vollflächige Verklebung mit aufgekämmtem Klebemörtel kann bei sehr ebenem Untergrund auch bei anderen Dämmstoffen vorgesehen werden, erhöht jedoch die Anforderungen an die Verarbeitung.

Bei mit der Gebäudehöhe zunehmender Windsogbeanspruchung, geringerer Scherfestigkeit der verwendeten Dämmplatten (Mineralschaum) oder aufgrund systembedingter höherer Eigenlasten (Riemchenbekleidung) kann es erforderlich sein, verklebte Wärmedämmverbundsysteme zusätzlich zu verdübeln (Bild 21).

Die notwendige Dübelanzahl ist von der konkreten Einbausituation abhängig. Parameter sind: Gebäudehöhe und Positionierung der Befestigung zum Gebäuderand, Art und Dicke des Wärmedämmstoffs sowie Durchmesser und Lage des Dübeltellers. Neben den allgemeinen Hinweisen aus DIN 55699 [32] muss der Nachweis der Standsicherheit den jeweiligen Zulassungsbestimmung der AbZ/aBG entsprechen.

Eine Befestigung mit Schienensystemen kommt in der Regel bei sehr unsicheren Untergründen im Altbaubestand zur Ausführung. Am Markt erhältlich sind PVC-Schienen für EPS-Dämmplatten und Aluminium-Schienen für Mineralwolle-Dämmplatten.

4.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Tauwasser im Bauteilquerschnitt einer mit WDVS bekleideten Außenwand sowie Tauwasser und Schimmel auf den inneren Bauteiloberflächen wird aufgrund der bauphysikalisch unproblematischen Schichtenfolge vermieden. Ein rechnerischer Nachweis zur Einhaltung des klimabedingten Feuchteschutzes nach DIN 4108-3 [7] ist daher entbehrlich.

Der mögliche Witterungsschutz eines Wärmedämmverbundsystems hängt von zwei physikalischen Eigenschaften der Putz-

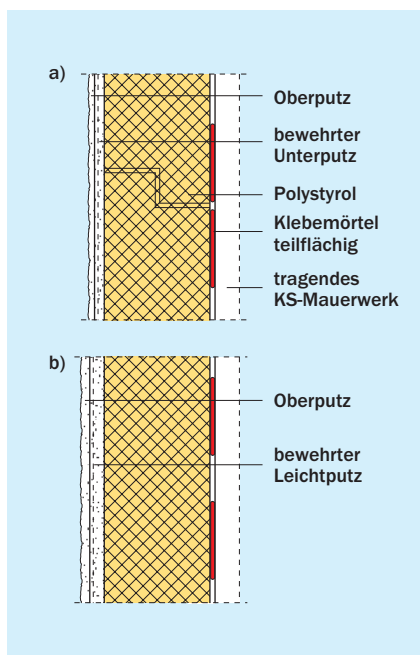


Bild 20 Teilflächig verklebtes WDVS mit EPS-Dämmplatten

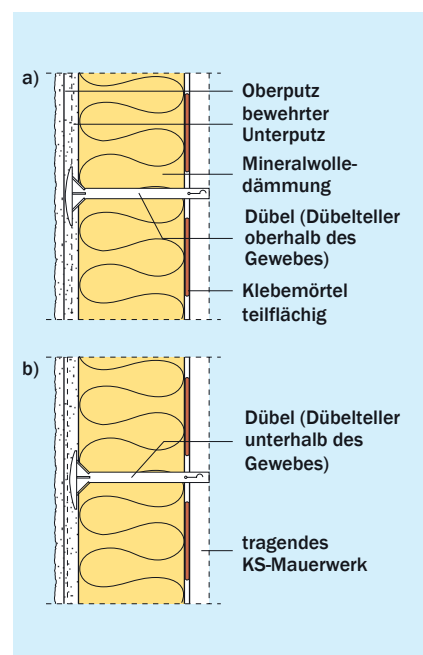


Bild 21 Teilflächig verklebtes und verdübeltes WDVS mit Mineralwolle-Dämmplatten

schicht ab: der Wasseraufnahmefähigkeit in Bezug auf flüssiges Wasser (Wasseraufnahmekoeffizient w) und der Diffusionsfähigkeit in Bezug auf Wasserdampf (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d). Damit eine mit Wärmedämmverbundsystem bekleidete Außenwand auch die Anforderungen der Beanspruchungsgruppe II und III (mittlere und hohe Schlagregenbeanspruchung) nach DIN 4108-3 [7] erfüllt, muss ein wasserabweisender Putz auf die Dämmebene aufgebracht werden. Diese Anforderung an die Putzschicht wird erreicht, wenn der Wasseraufnahmekoeffizient $w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$, die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d \leq 2,0 \text{ m}$ und das Produkt daraus $w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$ ist. Liegt eine Beanspruchung nach Schlagregengruppe I (geringe Schlagregenbeanspruchung) vor, müssen diese Anforderungen nicht erfüllt werden.

Die Auswahl der Putzarten erfolgt in Abhängigkeit vom verwendeten Dämmstoff: EPS-Dämmplatten als diffusionsdichtere Systeme werden in der Regel mit organisch gebundenen Putzsystemen kombiniert. Mineralwolle-Dämmplatten werden meist mineralisch verputzt. Der bauaufsichtlichen Zulassung bzw. der allgemeinen Bauartgenehmigung ist zu entnehmen, welche Systemkombinationen möglich sind.

Im Sockelbereich muss der Putz eines Wärmedämmverbundsystems vor Spritzwasser und ggf. aufsteigender Feuchte geschützt werden. Dies kann z.B. durch eine mineralische Dichtungsschlämme geschehen (Bild 22). Wird anstelle eines Sockelputzes zur Erhöhung des Schutzes vor mechanischer Beschädigung eine stoßfeste Bekleidung eingebaut, kann der zusätzliche Feuchteschutz entfallen (Bild 23).

In jedem Fall ist im Sockelbereich eine für die ggf. vorhandene Feuchtebeanspruchung zugelassene Perimeterdämmung zu verwenden.

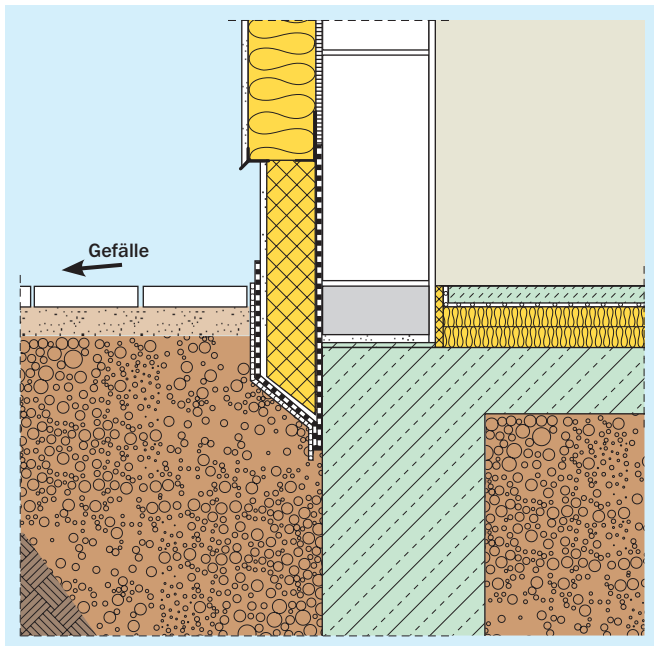


Bild 22 Zusätzlicher Feuchteschutz des verputzten WDV-Sockels

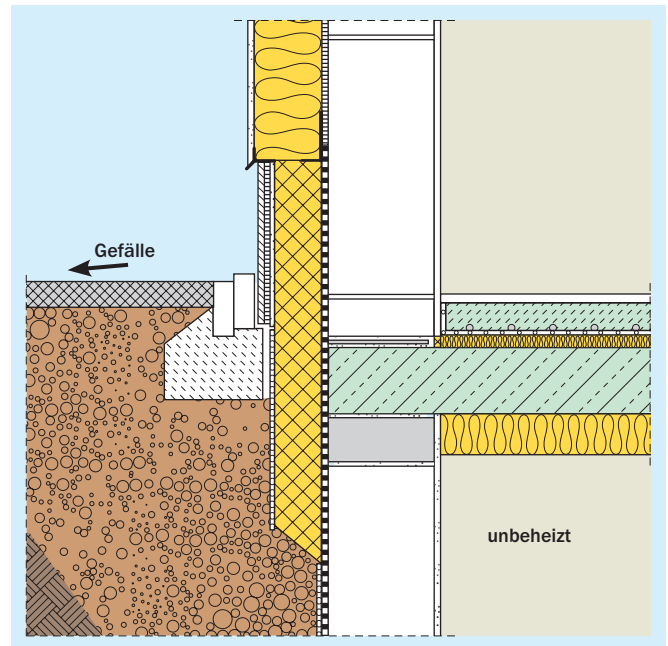


Bild 23 Verzicht auf zusätzlichen Feuchteschutz, da der WDV-Sockel nicht verputzt, sondern mit einer Bekleidung überdeckt ist

4.1.4 Wärmeschutz

Am häufigsten werden Wärmedämmplatten aus Polystyrol, Mineralwolle und Mineralwolle-Lamellen zur Errichtung von Wärmedämmverbundsystemen verwendet. Darüber hinaus kommen in geringem Umfang auch Dämmplatten aus Mineralschaum, Phenolharz und Polyurethan zum Einsatz. Die unterschiedlichen Dämmstoffe unterscheiden sich hinsichtlich der stoffabhängigen Wärmeleitfähigkeiten, Querzugfestigkeiten und der hieraus resultierenden zulässigen Dämmstoffdicken und notwendigen Befestigungsarten. Einzelheiten sind den Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. der allgemeinen Bauartgenehmigung zu entnehmen.

Die Berechnung des vorhandenen Wärmeschutzes erfolgt nach DIN 4108-2 [6] und umfasst den gesamten Wandquerschnitt zzgl. eines äußeren Wärmeübergangswiderstands

R_{se} von 0,04 (m²K)/W und eines inneren Wärmeübergangswiderstands R_{si} von 0,13 (m²K)/W (Tafel 6).

Regenfallrohre oder Elektroleitungen, die in Aussparungen der Dämmebene verlegt werden, verringern den Wärmeschutz deutlich und können durch Luftströmungen Tauwasserschäden hervorrufen. Daher sind sie zu vermeiden bzw. nur im Ausnahmefall in Kombination mit besonderen strömungstechnisch abdichtenden Maßnahmen in geringem Umfang zulässig.

Dämmstoffdübel durchdringen konstruktionsbedingt die Dämmebene und stellen damit punktuelle Wärmebrücken dar, die über den punktförmigen Wärmebrückenverlustkoeffizienten χ (chi) zu ermitteln sind. Ab einer Gesamt-Verschlechterung des U-Wertes von 0,04 W/(m²K) müssen sie daher nach DIN 4108-2 [6] bei der Ermittlung der Transmissionswärmeverluste berücksichtig

Tafel 6 U-Werte von einschaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystem

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m ² ·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem $R_{si} = 0,13$ (m ² ·K)/W 0,01 m Innenputz $\lambda = 0,70$ W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99$ W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz $\lambda = 0,70$ W/(m·K) $R_{se} = 0,04$ (m ² ·K)/W
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

sichtigt werden. Wann diese Verschlechterung eintritt, hängt von der wärmetech-nischen Qualität des Dämmstoffdübels und der Dämmschichtdicke ab (Tafel 7).

Eine mögliche Verringerung der punktför-migen Wärmebrücke kann neben der Aus-wahl geringer wärmeleitender Materialien für den Dübel selbst auch durch versenkt eingebaute Dämmstoffdübel mit einer partiellen Abdeckung durch eine Dämm-stoffrosette erfolgen (Bild 24, Bild 25).

4.1.5 Schallschutz

Ähnlich wie zweischalige KS-Außenwän-de mit Verblendschale werden KS-Außen-wände mit Wärmedämmverbundsystemen als Masse-Feder-Masse-Systeme bewertet, die unvermeidbar eine Reso-nanzfrequenz aufweisen. Da die Putz-schicht als äußere Schale aber eine deutlich geringere Masse darstellt als eine Verblendschale, kann es bei un-günstigen Kombinationen der einzelnen Elemente zu einem Einbruch der Schall-dämmung im bauakustischen Messbe-reich kommen, der zu einer Verschlech-terung des bewerteten Schalldämm-Maßes führt. Korrekturen und somit auch Verbes-

Tafel 7 Dübelanzahl n je m^2 , ab der eine Berücksichtigung des punktuellen Wärmebrückeneinflusses erforderlich ist

χ_p [W/K]	$60 \leq d \leq 100$ [mm]	$100 < d \leq 150$ [mm]	$d > 150$ [mm]
0,008	$n \geq 4$	$n \geq 4$	$n \geq 4$
0,006	$n \geq 5$	$n \geq 4$	$n \geq 4$
0,004	$n \geq 7$	$n \geq 5$	$n \geq 4$
0,003	$n \geq 9$	$n \geq 7$	$n \geq 5$
0,002	$n \geq 13$	$n \geq 9$	$n \geq 7$
0,001	$n \geq 17^1)$	$n \geq 17^1)$	$n \geq 13$

¹⁾ Maximale Dübelanzahl ohne gegenseitige Beeinflussung



Bild 24 Oberflächenbündig eingebauter Dämmstoffdübel

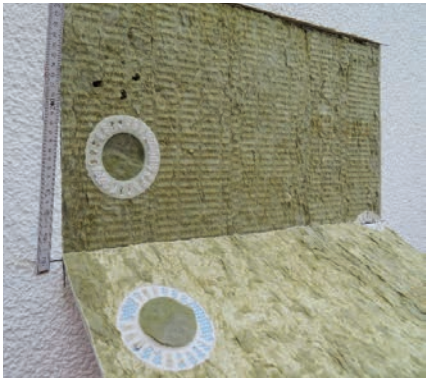


Bild 25 Versenkt eingebauter Dämmstoffdübel

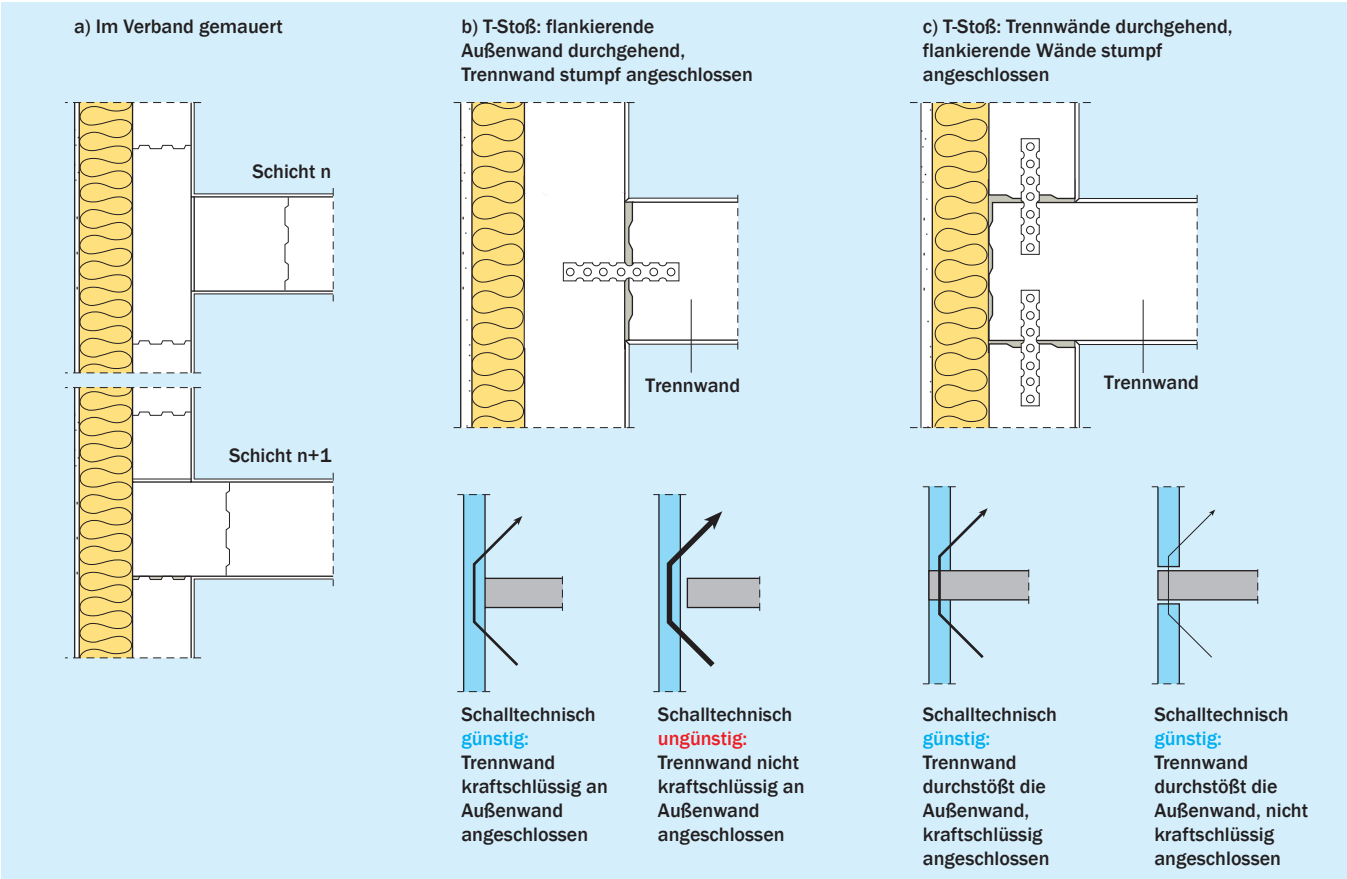


Bild 26 Schalltechnische Bewertung von Stoßstellen zwischen Außen- und Trennwänden

serungen sind über Veränderung des Klebefflächenanteils, der dynamischen Steifigkeit und der Dicke des Dämmstoffs sowie der Masse des Putzes möglich.

Bei der Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung im Gebäude (Flankenschall) kann der Einfluss eines WDVS vernachlässigt werden. Es wird nur die Wandkonstruktion aus KS-Mauerwerk berücksichtigt. Als schalltechnisch günstig hat sich eine Durchführung der Wohnungstrennwand durch die Außenwand erwiesen (Bild 26).

4.1.6 Brandschutz

Gemäß Landesbauordnungen dürfen Gebäude der Gebäudeklassen 1 – 3 mit normal entflammaren Wärmedämmverbundsystemen errichtet werden. Erst bei Gebäuden ab Gebäudeklasse 4 sind die Wärmedämmverbundsysteme als schwer entflammbar zu konzipieren, bei Hochhäusern müssen sie nicht brennbar sein (Tafel 8).

Wärmedämmverbundsysteme mit EPS-Dämmplatten sind bauordnungsrechtlich bis Gebäudeklasse 3 ohne besondere Maßnahmen verwendbar. Sollen sie darüber hinaus eingesetzt werden, müssen bestimmte zusätzliche Anforderungen erfüllt werden, wenn die Dämmstoffdicke zwischen 10 cm und 30 cm liegt. Ziel ist es, die Brandausbreitung in der Fassadenebene und den

Brandüberschlag aus dem Raum auf die Fassade zu unterbinden. Hierzu werden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) mögliche Varianten zugelassen, von denen eine in Bild 27 dargestellt ist: Es müssen mindestens drei umlaufende Brandriegel aus nicht brennbarer Mineralwolle bzw. nicht brennbaren Mineralwolle-Lamellenplatten aus Steinfasern (Schmelzpunkt 1.000 °C) bis zur Decke über dem 2.OG und ein zusätzlicher Brandriegel zur Vermeidung des Übertretens des Brandes auf die Dachfläche auch unterhalb der Attika eingebaut werden. Diese Brandriegel sind vollflächig zu verkleben und zusätzlich zu verdübeln. Weiterhin müssen oberhalb des 3. Brandriegels an Fensteröffnungen Sturzschutzmaßnahmen von mindestens 20 cm Höhe und einer seitlichen Einbindung über die Fenster hinaus von 30 cm ebenfalls aus nicht brennbaren Steinfasern vorgesehen werden. Alternativ zum Sturzschutz können auch weitere Brandriegel in jedem 2. Geschoss verwendet werden. Das Armierungsgewebe des Putzes muss ein Flächengewicht $\geq 150 \text{ g/m}^2$ aufweisen und an Gebäudeinnenecken müssen Eckwinkel aus Glasfasergebe eingearbeitet werden.

Tafel 8 Brandschutzanforderungen an Wärmedämmverbundsysteme

Bauprodukt (Bauart)	Baustoffanforderung		
	Gebäudeklassen		Hochhäuser
	1 bis 3	4 und 5	
WDVS	normalentflammbar	schwerentflammbar	nichtbrennbar

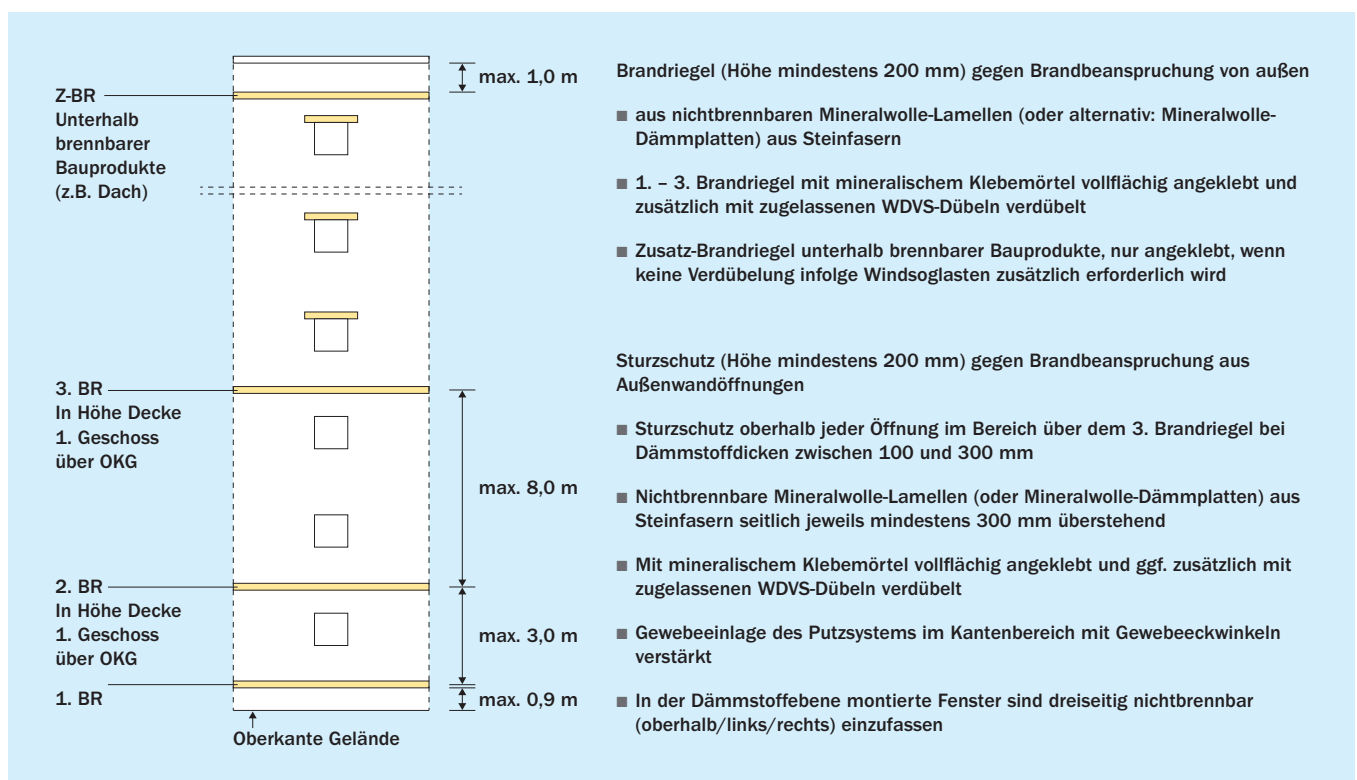


Bild 27 Ausführungsvariante eines schwer entflammaren WDVS mit EPS ($d \leq 300 \text{ mm}$) - Ausbildung mit umlaufenden Brandriegeln so wie Schutz der Fensteröffnungen

4.2 Funktionsangepasste Detailplanung

4.2.1 Schutz vor mechanischen Beschädigungen

Zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen durch stoßartige Belastungen und einer Verringerung frühzeitig notwendiger Instandsetzungen sollte ein Wärmedämmverbundsystem insbesondere in öffentlich zugänglichen Bereichen entsprechend robust konzipiert werden. Hinweise hierzu gibt DIN 55699 [32]. Solche Maßnahmen können aus einer zweiten Unterputzlage mit Bewehrung/Armierung oder verstärktem Armierungsgewebe („Panzergewebe“) bestehen. Es können auch druckfeste Platten wie Putzträgerplatten oder Verbundplatten unter dem Unterputz verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Montage einer stoßfesten Bekleidung in Form von Wand-schutzplatten vor der Wärmedämmung.

Nach ETAG 004 [34] und DIN EN ISO 7892 [35] kann die Notwendigkeit eines Schutzes vor mechanischer Beschädigung durch Nutzungskategorien bzw. Beanspruchungsgruppen beurteilt werden:

- Gruppe I: Ein der Öffentlichkeit leicht zugänglicher und gegen Stöße mit harten Körpern ungeschützter Bereich in Erdbodennähe, der jedoch keiner abnorm starken Nutzung unterliegt
- Gruppe II: Ein Bereich, der Stößen durch geworfene oder mit dem Fuß gestoßene Gegenstände ausgesetzt ist, sich jedoch an öffentlich zugänglichen Stellen befindet, wo die Höhe des Systems die Größe des Stoßes begrenzt; oder in niedrigen Bereichen, wo ein Zugang zum Gebäude in erster Linie durch Personen erfolgt, die einen Grund haben, Sorgfalt walten zu lassen
- Gruppe III: Ein Bereich, in dem Beschädigungen durch Personen oder geworfene Gegenstände unwahrscheinlich sind (> 5 m Gebäudehöhe)

4.2.2 Dehnungsfugen

Da ein Wärmedämmverbundsystem die auftretenden Spannungen durch den Verbund zum Untergrund ableitet, sind Dehnungen in der Regel entbehrlich. Allerdings müssen bauwerk-

bedingte Gebäudedehnfugen aus dem Untergrund im System übernommen werden (Bild 28 und 29).

Bei Einbau einer Riemchenbekleidung anstelle der Putzschicht muss allerdings die mögliche thermisch bedingte Längenänderung des Materials berücksichtigt werden. Daher sollten in diesem Fall Dehnfugen in der Bekleidung vorgesehen werden, so dass sich Feldgrößen unter 40 m² mit einer maximalen Länge bzw. Breite von 8 m ergeben [36] und [37].

4.2.3 Vermeidung von Rissen

Zur Vermeidung von Rissbildungen im Putz eines Wärmedämmverbundsystems sind einige grundsätzliche Verlege- und Ausführungshinweise zu beachten:

Die Dämmplatten sind im Verband zu verlegen und die Fugen zwischen den Platten dicht zu stoßen (Bild 31). Die Verwendung von Platten mit Stufenfalz oder Nut-/Feder-Kanten vereinfachen die Verlegung erheblich. Auch entlang der Gebäudekanten sind durchgehende Fluchten von Dämmplattenstirnseiten zu vermeiden (Bild 32). An Fenster- und Türöffnungen sollen die Dämmstoffplatten möglichst ausgeklinkt und nicht der Verlängerung der Öffnung folgend verlegt werden. Ist dies nicht möglich (z.B. MW-Brandriegel bei EPS), kann in der Dämmplattenebene ausnahmsweise ein T-Stoß (Verlängerung einer Bauteilöffnung durch den Dämmplattenstoß) ausgeführt werden. In jedem Fall ist ein Kreuzstoß zu vermeiden.

In den Unterputz ist ein Armierungsgewebe glatt und faltenfrei einzulegen, dessen Stöße sich nach DIN 55699 [32] 10 cm überlappen sollen. Dieses Textilglasgewebe hat die Aufgabe, die auftretenden Zugspannungen aufzunehmen und flächig zu verteilen. Ziel ist, die Rissbreite der einzelnen Risse zu verringern. Organische Putzsysteme (Kunstharzputze, Dispersionsputze, Silikonputze oder Silikatputze) werden meist dünn-schichtig bis 4 mm Schichtdicke ausgeführt. Dann ist das Armierungsgewebe mittig in den Unterputz einzuarbeiten. Bei mineralischen Putzsystemen (Kalk-Zement- oder Zementputze), die meist dickschichtig mit mehr als 4 mm Schichtdicke ausgeführt werden, soll das Armierungsgewebe im oberen Drittel des Unterputzes eingelegt werden. An Gebäudekanten werden in der Regel Eckprofile mit bereits angearbeitetem Gewebe verwendet (Bild 30).

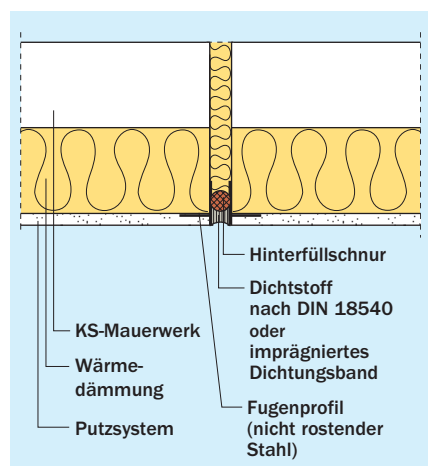


Bild 28 Dehnfuge mit Dichtstoff

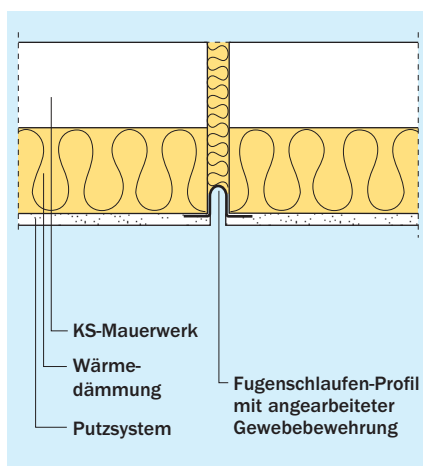


Bild 29 Dehnfuge mit Fugenprofil

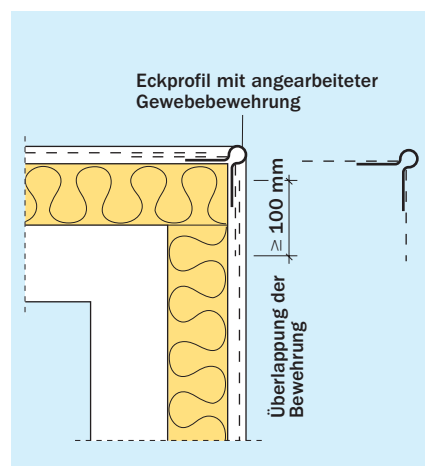


Bild 30 Kantenprofil

Zur Verringerung der geometriebedingt an den Ecken der Öffnungen auftretenden Kerbspannungen sollen zusätzlich Diagonalarmierungen vorgesehen werden (Bild 33). Bei hoher thermischer Beanspruchung kann aber auch durch diese Maßnahme das Entstehen von Rissen an dieser Stelle nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Die Struktur des Oberputzes hat erheblichen Einfluss darauf, ob zum einen Risse entstehen und zum anderen ob ggf. entstandene Risse oder sonstige Unregelmäßigkeiten optisch wahrgenommen werden oder nicht. Während bei glatten Putzen Rissbreiten um 0,1 mm bereits sichtbar sind, sind bei strukturierten Putzoberflächen Risse mit einer Breite von 0,2 mm kaum wahrnehmbar und noch akzeptabel nach WTA Merkblatt 2-4 [33].

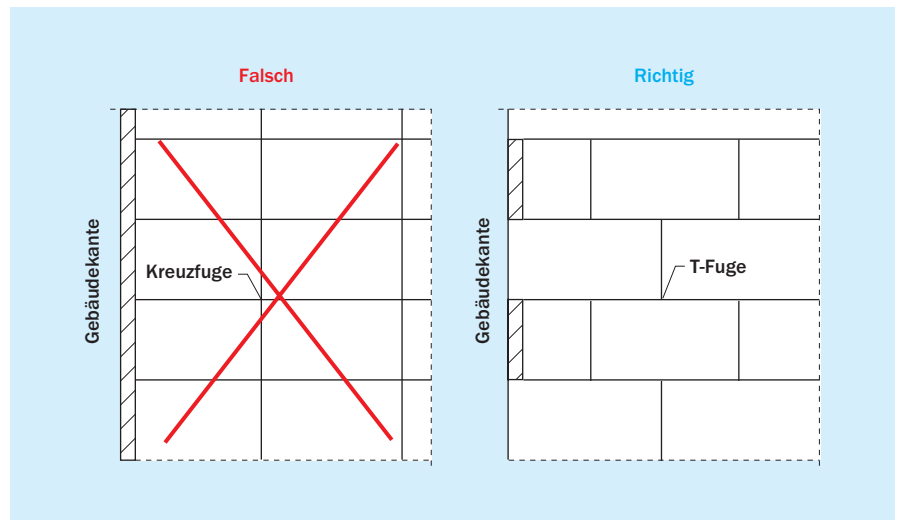


Bild 31 Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Verband im Regelquerschnitt

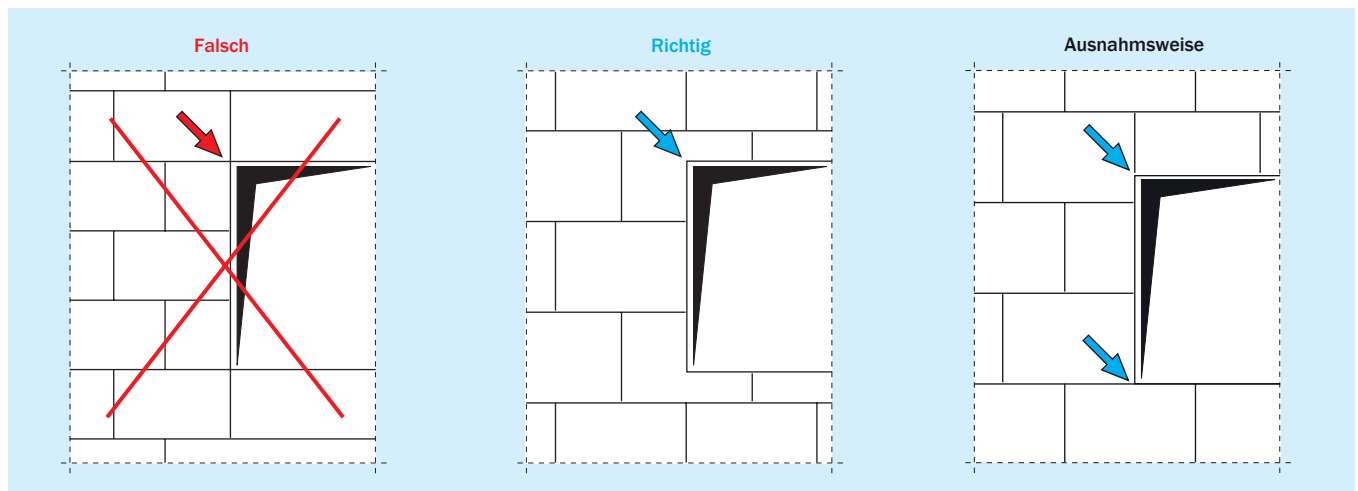


Bild 32 Verlegevarianten von WDVS-Dämmplatten an Wandöffnungen

Die Rissanfälligkeit eines Putzes wird weiterhin durch die Sonneneinstrahlung deutlich beeinflusst, da durch thermisch bedingte Längenänderungen größere Spannungen entstehen. Dunkle Fassaden heizen sich aufgrund der größeren Absorption der Sonnenstrahlung mehr auf als helle Fassaden. Daher ist die Ausführung heller Fassaden mit einem Hellbezugswert nicht unter 20 zu empfehlen (100 = weiß, 0 = schwarz). Dieser Hellbezugswert berücksichtigt die Aufheizung von Fassaden durch das sichtbare Licht. Durch Weiterentwicklung der Farbbeschichtung (Einbindung von Pigmenten in die Mikrostruktur der Farbe) können aber auch dunklere oder kräftigere Farben verwendet werden. Die Beurteilung erfolgt mit Hilfe des TSR-Wertes (totale

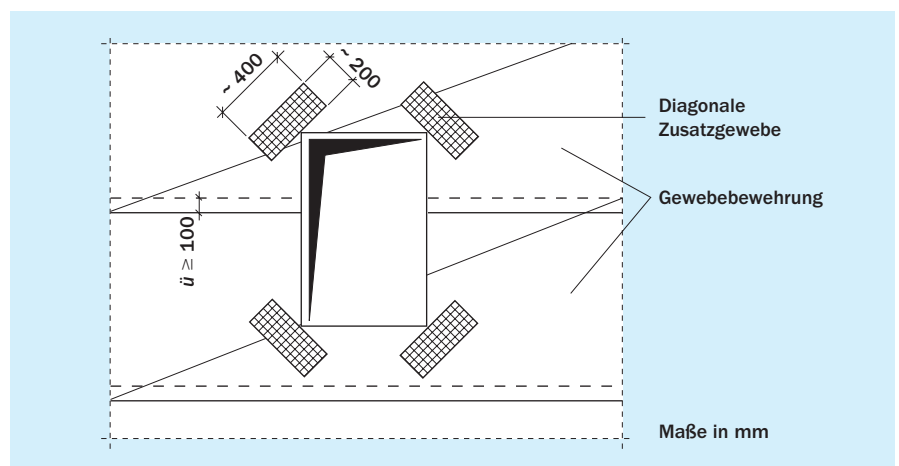


Bild 33 Erforderliche Überlappung der Gewebearmierung und Einbau der Diagonalarmierung an Ecken von Wandöffnungen

solare Reflexion, Merkblatt TSR [38]). Dieser Wert sollte über 25 liegen. Er ermöglicht eine Bewertung der Aufheizung der Fassade über die Reflexion des gesamten sichtbaren Lichts, also auch im infraroten und ultravioletten Bereich, der nicht wesentlich zur Wärmeentwicklung einer Oberfläche beiträgt.

4.2.4 Schutz vor Veralgung

Algen benötigen einen ausreichend hohen Feuchtegehalt auf Fassadenoberflächen, um wachsen zu können. Daher ist der wirksamste Schutz vor Veralgung, Fassadenoberflächen trocken zu halten. Dies kann dadurch geschehen, dass Niederschläge konstruktiv von der Oberfläche ferngehalten, zügig abgeleitet oder durch dickschichtige Putze gespeichert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass das durch Unterschreitung der Taupunkttemperatur entstehende, nächtliche Oberflächen-tauwasser verhindert wird.

Schutz vor Schlagregen bieten ausreichend große Dachüberstände und/oder Tropfkanten. Auf die Wasserableitung hat die Struktur des Putzes erheblichen Einfluss: In Rillen oder Vertiefungen bleiben Wassertropfen länger anhaften. Eine weitere Möglichkeit – insbesondere bei Silikonharzfarben – der raschen Wasserableitung bietet die Verwendung von hydrophob eingestellten Mikrostrukturfarben (Lotuseffekt).

Schutz vor Oberflächentauwasser bieten dunkle Farbanstriche, da diese höhere Energiegewinne aufweisen. Auch dickschichtige Putzsysteme weisen eine höhere spezifische Wärmespeicherkapazität auf. Zudem sind diese meist mineralischen Putze hydrophil eingestellt und speichern das an der Oberfläche anfallende Wasser, so dass einem Algenbefall durch Entzug der Wachstumsgrundlage (Feuchtigkeit) vorgebeugt wird.

Vielfach diskutiert wird der Einsatz von biozid ausgerüsteten Farben zur Verhinderung von Algenwachstum. Es ist zu berücksichtigen, dass Biozide aus den Farben ausgewaschen werden, um ihre Wirksamkeit zu entfalten. Somit gelangen sie in die Umwelt, was jedem Nachhaltigkeitsbestreben entgegensteht. Auch bei inzwischen entwickelten verkapselten Bioziden tritt dieser Wirksamkeitsmechanismus – wenn auch zeitverzögert – ein. Daher ist nach dem Merkblatt zur Veralgung [39] und der Entscheidungshilfe des Umweltbundesamtes [40] von der Verwendung biozid eingestellter Farbe abzuraten.



5. Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

5.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

5.1.1 Systemaufbau

Auch der Aufbau von KS-Mauerwerk mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen folgt der klaren funktionalen Trennung zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz: die tragende KS-Innenschale gewährleistet die statischen und mit dem Innenputz auch die luft-/winddichtenden Funktionen, die Dämmebene den Wärmeschutz und die äußere Bekleidung den Witterungsschutz (Bild 34). Das Bindeglied zwischen der Tragstruktur und der Bekleidung bilden Verankerungselemente, Unterkonstruktion und Befestigungselemente.

5.1.2 Standsicherheit

5.1.2.1 Tragende Innenschale

Der Standsicherheitsnachweis des tragenden KS-Mauerwerks erfolgt nach den bereits beschriebenen Verfahren aus DIN EN 1996/NA.

INFO

Für die aus der vorgehängten hinterlüfteten Bekleidung auftretenden Lasten ist ein tragendes KS-Mauerwerk besonders gut geeignet.

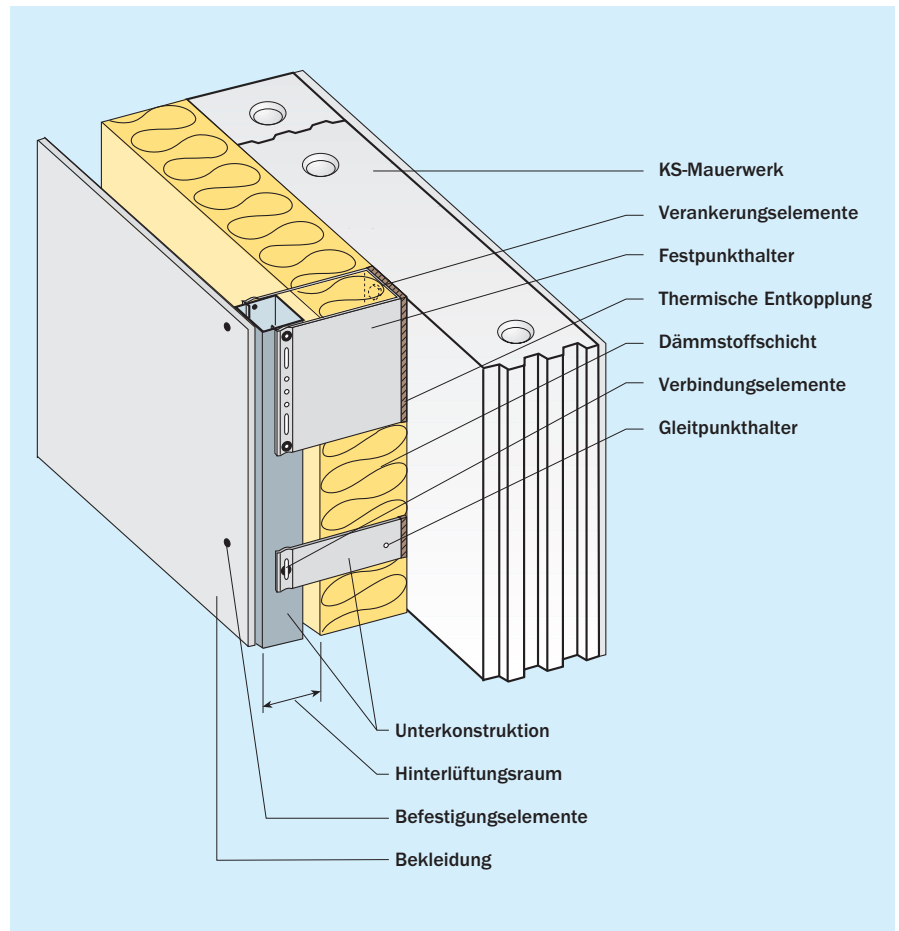


Bild 34 Systemaufbau von KS-Außenwänden mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden

Die zur Verankerung der Unterkonstruktion verwendbaren Dübel sind den entsprechenden Zulassungen zu entnehmen und richten sich nach der Tragfähigkeit des Untergrundes.

Mögliche Verformungen des Untergrundes werden von vorgehängten Konstruktionen problemloser aufgenommen als von starr mit dem Untergrund verbundenen Konstruktionen, da der Einbau der Bekleidung zwangungsfrei (Festpunkt- und Gleitpunkthalter) erfolgt.

Hinsichtlich der erforderlichen Ebenheit des Untergrundes sind aus diesem Grund auch geringere Anforderungen zu stellen. Herstellungsbedingte Toleranzen des Untergrundes bis zu 20 mm können in der Regel durch Anpassung der Verankerung und der Unterkonstruktion ausgeglichen werden. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Wärmedämmung lückenlos verlegt und der notwendige Hinterlüftungsraum nicht unzulässig verringert wird.

5.1.2.2 Verankerung und Unterkonstruktion

Die aus der vorgehängten hinterlüfteten Bekleidung resultierenden Eigenlasten sowie Wind- oder Schneelasten werden über Einzelbefestigungen und/oder von der Unterkon-

struktion auf das tragende KS-Mauerwerk übertragen. Sie bestehen bei großformatigen Bekleidungen meist aus Metall (Aluminium oder nicht rostendem Stahl), bei kleinformatischen Bekleidungen aus Holz (Bild 35 und 36). Die notwendigen Nachweise sind nach DIN 18516-1 [41] oder über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bzw. Prüfzeugnisse zu erbringen.

Da Unterkonstruktionen nach der Fertigstellung der Fassade nur nach teilweisem Rückbau der Bekleidung zugänglich sind, sind sie gegen chemische und biologische Einflüsse dauerhaft zu schützen. Bei Metallunterkonstruktionen ist daher ggf. ein zusätzlicher Korrosionsschutz nach DIN 18516-1 [41] zu erbringen, da es bei der Verwendung unterschiedlicher Metalle zu Kontaktkorrosion kommen kann. Zu berücksichtigen sind bei diesem Nachweis auch die an die Fassade angrenzenden Abdeckungen aus Metall. Ausgenommen hiervon sind nach DIN 18516-1 [41] geeignete Metalle (z. B. nichtrostende oder feuerverzinkte Stähle, Aluminiumlegierungen, oder Kupferwerkstoffe), die keines gesonderten Nachweises bedürfen. Holzunterkonstruktionen müssen nach DIN 68800 [42] durch geeignete Maßnahmen gegen biologische Einflüsse geschützt werden.

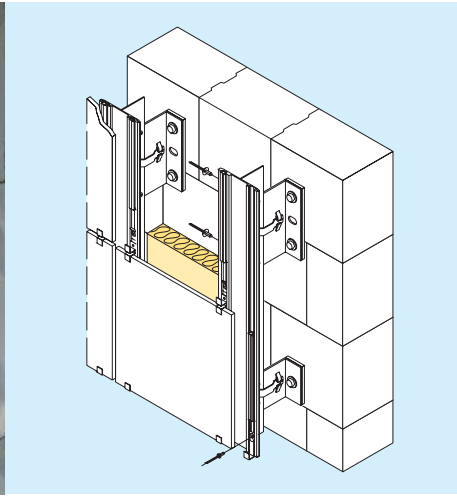


Bild 35 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden mit Aluminium-Unterkonstruktion

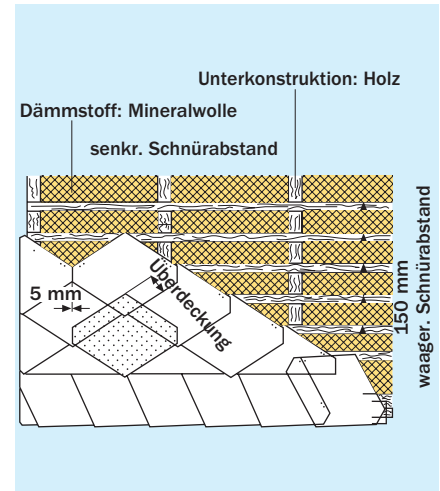


Bild 36 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden mit Holz-Unterkonstruktion

5.1.2.3 Windsperren

An Gebäudeändern können vertikale Windsperren dazu beitragen, die dort auftretenden Windsoglasten zu verringern (Bild 37). Bei Berücksichtigung einer ausreichenden Durchströmbarkeit und Durchlässigkeit der äußeren Bekleidung kann dann nach DIN EN 1991-1-4 [24] von reduzierten Lastannahmen ausgegangen werden.

5.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Der Feuchteschutz vor Tauwasser, das durch Wasserdampfdiffusion resultierend aus Luftfeuchte aus dem Innenraum oder als Baufeuchte im Wandquerschnitt ausfallen kann, wird baukonstruktiv dadurch vermieden, dass der Bauteilaufbau hinterlüftet ist. Nach DIN 4108-3 [7] sind daher die hinterlüfteten Außenwandkonstruktionen vom rechnerischen Nachweis befreit.

KS-Außenwandkonstruktionen mit hinterlüfteter Bekleidung folgen dem sog. zweistufigen Abdichtungsprinzip: der Schutz

vor Niederschlägen und das Ableiten des auf die Fassade treffenden Regens erfolgt an bzw. auf der Rückseite der Bekleidungselemente. Die Aufgabe der erforderlichen Wind- und Luftdichtheit wird von der tragenden, inneren Schale übernommen. Zur Gewährleistung dieser Funktionen und Vermeidung von Konvektionsströmen ist die tragende KS-Innenschale mindestens mit vermörtelten Stoßfugen auszubilden oder bei unvermörtelten Stoßfugen auf der Innenseite zu verputzen. Unter Berücksichtigung dieser Maßnahmen sind solche hinterlüfteten Außenwandkonstruktionen nach DIN 4108-3 [7] bei der Bewertung des Schlagregenschutzes für die höchste Beanspruchung nach Schlagregenbeanspruchungsgruppe III gut geeignet.

Der Hinterlüftungsraum ist von entscheidender Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der gesamten Konstruktion: Aus dem Raum-/Bauteilinnern in die Wandkonstruktion diffundierende Feuchte trocknet in diesem durchströmbaran Luftspalt ebenso ab wie die von außen über die Fugen eindringenden Niederschläge. Nach DIN 18516-1 [41] beträgt daher die Min-

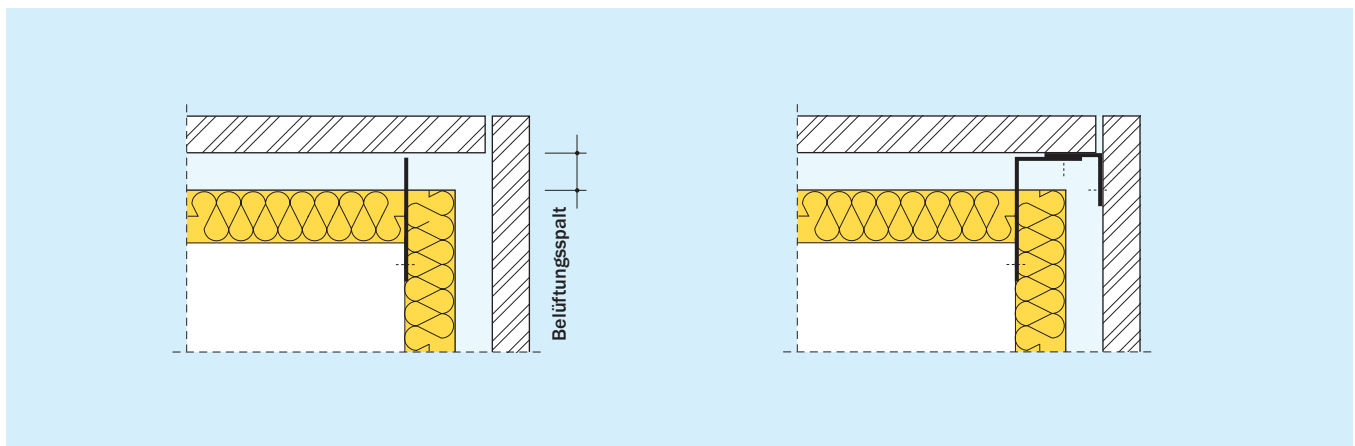


Bild 37 Vertikale Windsperren an Gebäudekanten

destbreite des Luftspaltes 20 mm. Zu- und Abluftöffnungen sollen mindestens 50 cm²/m umfassen und zur Vermeidung eines Schädlingsbefalls mit Insektengittern verschlossen werden. Eine partielle Unterschreitung bis 5 mm Breite des Hinterlüftungsraums ist zulässig. Diese Mindestwerte setzen allerdings voraus, dass die verwendete Wärmedämmung sehr maßhaltig ist und sich auch durch Luftströmungen nicht „aufplustert“. Bei offenen Bekleidungsugen sollte daher ein Luftspalt von mindestens 40 mm Breite vorgesehen werden (Bild 38).

Hinsichtlich der Bekleidungselemente ist zwischen kleinformatigen (< 0,4 m² und 5 kg/Element) und großformatigen Elementen zu unterscheiden (Tafel 9). Klein- oder brettformatige Bekleidungen werden meist auf Holzunterkonstruktionen verschraubt oder mit Haken fixiert. Großformatige Bekleidungen werden auf Metall-Unterkonstruktionen verklammert oder genietet. Zu achten ist in diesem Fall auf eine zwängungsfreie Befestigung der Elemente an der Unterkonstruktion, damit die unvermeidbar auftretenden hygrothermischen Verformungen bei Metallbekleidungen nicht zum Verbiegen oder bei Faserzement- bzw. Naturwerksteinbekleidungen zu Rissen oder Ausbrüchen führen.

Bei kleinformatigen Bekleidungen wird der Witterungsschutz durch eine Verlegung der Elemente mit überdeckten Fugen erreicht. Bei großformatigen Bekleidungen erfolgt die Verlegung mit offenen, mindestens 10 mm breiten Fugen zwischen den Elementen (Bild 38). Eine Aufweichung der hinter den offenen Fugen vorhandenen Dämmung findet nur in sehr geringem Umfang statt (z.B. bei hydrophobierter Mineralwolle ein bis zu 4 cm breiter und 1 mm tiefer Streifen).

Um ein optisch gleichmäßiges Fugenbild hervorzurufen, ist es dann sinnvoll, den Wärmedämmstoff mit einem schwarzen Vlies zu kaschieren. Das optische Erscheinungsbild gilt bei einem üblichen Betrachtungsabstand von 3 m vor der Fassade trotz Abweichungen von ±20 % der Fugenbreite nach FHV-Leitlinie [43] als regelmäßig.

Das Schließen der offenen Fugen durch Profile oder Dichtstoff ist aufgrund der Verschmutzungs- bzw. Rissanfälligkeit nicht empfehlenswert. Der durch offene Fuge stattfindende zusätzliche Luftaustausch trägt zudem zur Funktionssicherheit der gesamten Fassadenkonstruktion bei, auch wenn er planerisch nicht bei der Dimensionierung der Hinterlüftung eingerechnet wird.

Tafel 9 Typische Materialien für Bekleidungselemente

Werkstoff der Bekleidung	Anwendung		
	großformatig	kleinformatig	brettformatig
Metall	x	x	–
Naturwerkstein	x	x	–
Keramik	x	x	–
Tonstranglelemente	x	x	x
Faserzement	x	x	x
Holzzement	x	–	x
Faserverstärktes Harzkomposit	x	x	x
Hochdruck-Schichtpressstoff (HPL)	x	x	x
Verbundwerkstoff	x	x	x

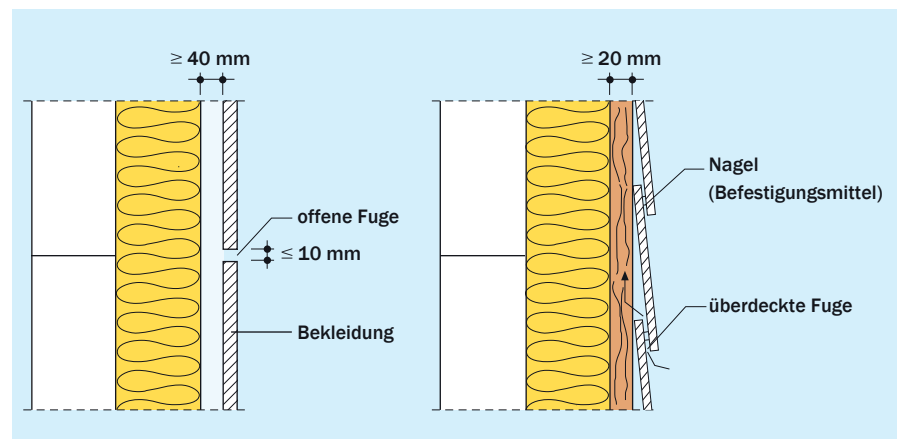


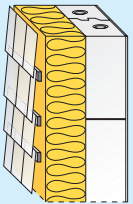
Bild 38 Fugenausbildung bei hinterlüfteten Bekleidungen (aus [35])

5.1.4 Wärmeschutz

Grundsätzlich sind alle Wärmedämmstoffe zum Einbau hinter eine belüftete Bekleidung geeignet, die für den Anwendungsfall einer Feuchteeinwirkung zugelassen sind. Die Dämmstoffe unterscheiden sich hinsichtlich der stoffabhängigen Wärmeleitfähigkeiten, Quersugfestigkeiten und der hieraus resultierenden zulässigen Dämmstoffdicken und notwendigen Befestigungsarten. Einzelheiten sind den Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen.

Die Berechnung des vorhandenen Wärmeschutzes erfolgt nach DIN 4108-2 [6] und umfasst die tragende Innenschale, die Wärmedämmung zzgl. eines äußeren Wärmeübergangswiderstands R_{se} von 0,13 (m²K)/W und eines inneren Wärmeübergangswiderstands R_{si} von 0,13 (m²K)/W. Die Schichten außerhalb der thermischen Hülle (Wärmedämmung) werden aufgrund der Luftströmung im Hinterlüftungsraum nicht mit angesetzt (Tafel 10).

Tafel 10 U-Werte von KS-Außenwänden mit vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	31,5	10	0,20	0,22	0,28	0,30	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDk 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung
	33,5	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	37,5	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	41,5	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	45,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	51,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

Wärmedämmstoffe sind flächig auf dem Untergrund im Verband anzubringen und hohlraumfrei zu verlegen. Daher müssen Unebenheiten im Untergrund vorab ausgeglichen werden. Werden zur Fixierung der Dämmung am Untergrund Dämmstoffhalter verwendet, sind in der Regel 5 Halter pro m² ausreichend. Alternativ können die Dämmplatten bei sehr ebenem Untergrund wie z.B. KS-Mauerwerk auch im Rand-Wulst-Punkt-Verfahren verklebt werden, wenn durch diese Verklebung eine Haftzugfestigkeit von 1 kPa erreicht wird.

Die lineare Verankerung der Unterkonstruktion am tragenden Untergrund führt zu Wärmebrücken, die in der energetischen Bilanzierung berücksichtigt werden müssen. Die Anordnung, die Form sowie die Anzahl der Verankerungen sind ausschlaggebend für die energetischen Verluste. Hinweise sind in der FVHF-Leitlinie zur Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden [45] enthalten. Eine mögliche Verringerung der Wärmebrücken kann neben der hohlraumfreien Verlegung der Wärmedämmung auch im Bereich der Verankerungselemente in der Verwendung eines thermischen Trennelementes zwischen tragender Innenschale und Verankerungselement bestehen (Bild 39).

Auch die durch Dämmstoffhalter auftretenden punktuellen Wärmebrücken müssen in der Berechnung analog zu den bei Wärmedämmverbundsystemen beschriebenen Randbedingungen berücksichtigt werden.

5.1.5 Schallschutz

Auch KS-Außenwände mit hinterlüfteten Bekleidungen wirken als Masse-Feder-Masse-System und weisen daher ein im Vergleich zu einschaligen Außenwänden deutlich höheres bewertetes Schalldämmmaß gegenüber Außenlärm auf. Weitere Optimierungen sind durch Anpassung des Hinterlüftungsraums und der dynamischen Steifigkeit des Dämmstoffs möglich.

In Bezug auf die vorhandene Flankenschalldämmung zwischen schutzbedürftigen Räumen wird nur die tragende Innenschale und die Ausbildung der Stoßstelle berücksichtigt.

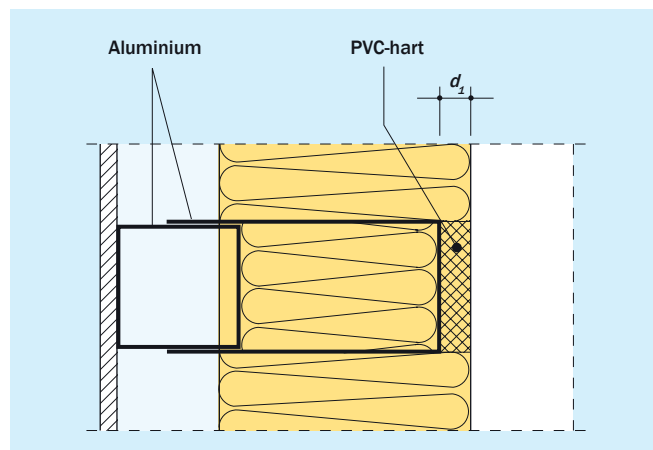


Bild 39 Reduzierung der Wärmebrücke am Wandhalter

5.1.6 Brandschutz

Das Bauordnungsrecht stellt an die einzelnen Elemente einer vorgehängten hinterlüfteten Bekleidung in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe Anforderungen an die zu verwendende Baustoffklasse: Bis Gebäudeklasse 3 (7 Meter Gebäudehöhe) sind normal entflammable Baustoffe zulässig. Ab 7 Meter Gebäudehöhe muss mindestens ein nichtbrennbarer Dämmstoff, ab 22 Meter Gebäudehöhe müssen alle Elemente der vorgehängten hinterlüfteten Fassade nichtbrennbar sein (Tafel 11).

Bei geschossübergreifenden Hohl- oder Lufträumen muss die Brandausbreitung in der Fassadenebene durch zusätzliche Maßnahmen verhindert werden. Diese können durch horizontale oder vertikale Brandsperren erfolgen, die einem Feuer mindestens 30 Minuten standhalten. Horizontal sind solche Brandsperren alle zwei Geschosse, vertikal im Bereich von Brandwänden im Hinterlüftungsraum einzubauen (z.B. nicht brennbare Dämmplatten mit einem Schmelzpunkt > 1.000 °C oder 1 mm dickes Stahlblech). Horizontale Brandsperren sind entbehrlich, wenn bei nichtbrennbaren Baustoffen zusätzlich der Hinterlüftungsraum um Fensteröffnungen nach den zu-

vor beschriebenen Kriterien verschlossen wird. Öffnungen in Brandsperren sind mit $100 \text{ cm}^2/\text{m}$ Fassadenlänge zulässig. Die maximal zulässige Breite des Hinterlüftungsraums beträgt bei Holzunterkonstruktionen 50 mm, bei Unterkonstruktionen aus Metall 150 mm.

5.2 Funktionsangepasste Detailplanung

5.2.1 Schutz vor mechanischen Beschädigungen

Zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen durch Stoß- oder Schlagbeanspruchungen und einer dann frühzeitig notwendigen Instandsetzung sollten auch hinterlüftete Bekleidungen insbesondere in öffentlich zugänglichen Bereichen (Hauseingänge, stark frequentierte Fußwege, Erdgeschoss-Fassaden von Schulgebäuden etc.) entsprechend robust konzipiert werden. Erreichbar sind solche Flächen etwa in Erdgeschosseshöhe. Der Schutz kann durch eine zusätzliche Aussteifung der Elemente (z.B. bei Metallbekleidungen) oder durch den Einbau dickerer Platten (z.B. Faserzementplattenbekleidungen) bestehen.

Hinsichtlich des Schutzes vor Vandalismus und Verunreinigungen durch Graffiti ist die Reinigungsfähigkeit der Bekleidungselemente ausschlaggebend. Zum vorbeugenden Schutz sind Hinweise zu möglichen Oberflächenbehandlungen im WTA-Merkblatt 2-5-97 Anti-Graffiti-Systeme [47] enthalten. Sollte es dennoch zur Beschädigung einzelner Elemente kommen, lassen diese sich meist ohne großen Demontageaufwand ersetzen.

5.2.2 Anschlussfugenausbildung

Da bei hinterlüfteten Bekleidungen konstruktionsbedingt Niederschlagswasser auf die Rückseite der Bekleidungselemente gelangen kann, ist es wichtig, dieses an Fensteranschlüssen oder Fassadenrücksprüngen nach außen abzuleiten, um Feuchteschäden im Innenraum und/oder Aufweichungen der Wandkonstruktion selbst durch unkontrolliertes Abtropfen zu vermeiden (Bild 40).

Tafel 11 Brandschutzanforderungen bei vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen

Bauprodukt (Bauteil)	Baustoffanforderung		
	Gebäudeklassen		
	1 bis 3	4 und 5	Hochhäuser
Bekleidung	normal-entflammbar	schwer-entflammbar	nichtbrennbar
Unterkonstruktion	normal-entflammbar	schwer-entflammbar ¹⁾	nichtbrennbar
Wärmedämmung	nichtbrennbar ^{2) 3)}	nichtbrennbar ²⁾	nichtbrennbar ²⁾

¹⁾ Die Verwendung von normalentflammbaren Baustoffen (z.B. stabförmige Unterkonstruktionen aus Holz) ist zulässig, wenn die Brandausbreitung „ausreichend lang begrenzt ist“.

²⁾ Gilt nicht für die Dämmstoffhalter.

³⁾ Nach Empfehlung FVHF e.V.

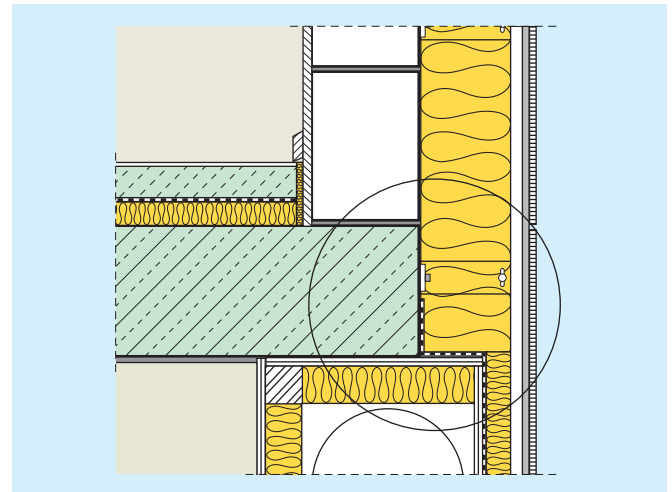


Bild 40 Fußpunktabdichtung bei vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen (aus FHVF 21 [44])



6. KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung

6.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

6.1.1 Systemaufbau

Für Gebäude, die als niedrig oder nicht beheizt konzipiert werden, kann auf den zusätzlichen Wärmeschutz der Außenwände verzichtet werden. Typische Beispiele hierfür sind Wirtschaftsbauten (z.B.: Industriehallen) oder landwirtschaftliche Gebäude (z.B. bestimmte Stallanlagen). Die Funktionstrennung ist bei diesen Wandkonstruktionen aufgehoben: Der gesamte Wandquerschnitt wird als tragende Schale konzipiert und muss in der Variante Sichtmauerwerk auch den notwendigen Witterungsschutz erbringen). Bei erhöhten Anforderungen an den Schlagregenschutz kann dieser durch eine zusätzliche Putzschicht oder hinterlüftete Bekleidung erfolgen (Bild 41).

6.1.2 Standsicherheit

Bei einschaligen KS-Außenwänden trägt der gesamte Wandquerschnitt die anfallenden Lasten. Die Bemessung erfolgt nach DIN EN 1996-1-1 [1].

6.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Unverputzte KS-Außenwände erbringen als Sichtmauerwerke den erforderlichen Witterungsschutz durch das Speichern des auftretenden Regens und das zeitversetzte wieder Austrocknen (Prinzip: Regenspeicher). Um ein „Durchschlagen“ der Feuchtigkeit bis an die Innenseite der Außenwand zu vermeiden,

müssen die außen liegenden Steine aus frostbeständigen KS-Verblendsteinen bestehen und muss die innere Schalenfuge lageweise versetzt und durchgehend kraftschlüssig und hohlraumfrei vermörtelt in einer Dicke von 2 cm nach DIN 1053-1 hergestellt werden (Bild 41).

Für die Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108-3 [7] beträgt die erforderliche Wanddicke mindestens 31 cm, zur Erreichung der Schlagregenbeanspruchungsgruppe II nach DIN 4108-3 [7] mindestens 37,5 cm. Die Zuordnung zu Schlagregenbeanspruchungsgruppe III nach DIN 4108-3 [7] wird erst dann erreicht, wenn entweder ein wasserabweisender Putz oder eine hinterlüftete Bekleidung auf der Außenseite der Außenwand ausgeführt wird.

6.1.4 Schallschutz

Bei der Verwendung hoher Steinrohrichteklassen (z.B. RDK 2,0) bieten einschalige KS-Außenwände einen für den Anwendungsfall ausreichend guten Schallschutz.

6.1.5 Brandschutz

Da Kalksandsteine nicht brennbar sind und in die Baustoffgruppe A1 nach DIN 4102-1 [22] bzw. A1/A2-s₁ nach DIN EN 13501 [21] eingeordnet werden, bieten sie für den vorgesehenen Anwendungsfall eine ausreichend hohe Feuerwiderstandsdauer.

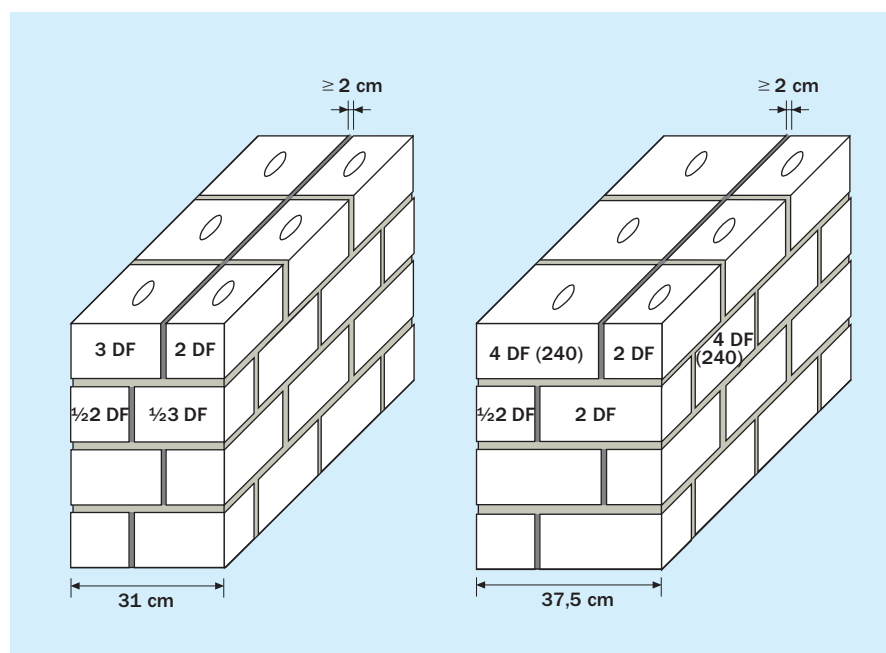


Bild 41 KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung als Sichtmauerwerk

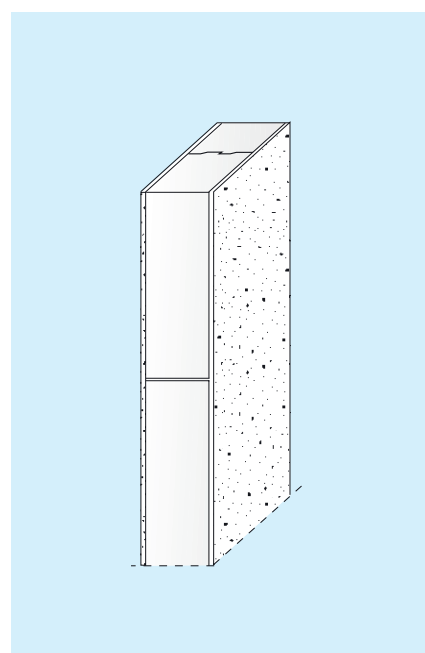


Bild 42 Verputztes KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung

7. Beidseitig bewitterte KS-Wände

7.1 Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Einfriedungen oder Stützmauern können als freistehende KS-Wände konstruiert werden und sind dann nicht durch seitlich einbindende Querwände oder Stützen bzw. obere Decken- oder Ringbalken gehalten.

Die Ermittlung der Lastannahmen erfolgt unter Berücksichtigung von DIN 1991/NA [23] + [24]. Bei Annahme von Windlastzone 2 und einer Mauerkronenhöhe bis 8 m über Oberkante Gelände können in Abhängigkeit von der Wanddicke 1 (Wanddicke 17,5 cm) bis 5 (Wanddicke 36,5 cm) Steinreihen (Schichtmaß: 25 cm) übereinandergeschichtet werden [25].

Sollen beidseitig bewitterte Wände höher aufgemauert werden, sind Pfeiler oder zusätzliche Querriegel als aussteifende Elemente erforderlich (Bild 43). Dann gelten die Wände als drei- bzw. vierseitig gehalten. Zur Aussteifung eignen sich Stahlprofile oder Stahlbetonpfeiler (Tafel 12).

Unvermeidbar sind hygrothermisch bedingte Längenänderungen als wiederkehrende Verformungen und die daraus resultierenden Zwangsbeanspruchungen. Zur Vermeidung von Rissbildungen sind die zusammenhängenden Wandlängen daher durch Dehnfugen zu begrenzen. Ohne weitere aussteifende Elemente bleiben freistehende Wände bis zu 6-8 m Länge schadenfrei.

senden Putz mit 5 cm oberhalb des angrenzenden Geländes endender mineralischer Dichtungsschlämme als Feuchteschutz sowie einer zusätzlich eingebauten Querschnittsabdichtung unterhalb des KS-Mauerwerks erfolgen.



Bild 43 Freistehende KS-Wand mit horizontalen und vertikalen Aussteifungen

7.2 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Frostbeständigkeit sind freistehende Wände aus KS-Verblendsteinen oder KS-Vormauersteinen aufzumauern.

Um Niederschläge dauerhaft abzuleiten, müssen Mauerkronen abgedeckt werden. Rollschichten haben sich hierzu nicht bewährt. Fugen von kleinteilig ausgebildeten Rollschichten können von Regen durchströmt werden, wodurch ein frostbedingtes Abplatzen der Fugen selbst und eine Auffeuchtung der darunter befindlichen Wandflächen unvermeidbar ist. Gut geeignet hingegen sind Natursteinplatten, Betonfertigteile, Dachsteine/-ziegel oder Metallabdeckungen. Weitere Hinweise zur Art der Abdeckung in Abhängigkeit von der Exposition eines Bauteils können DIN 1996-2 [3], zu notwendigen Tropfkantenüberständen DIN EN 13914-1 [26] oder den Klempnerfachregeln [27] entnommen werden.

Auch der Sockel freistehender KS-Mauern ist vor dem Eindringen von Feuchtigkeit (kapillar aufsteigende Feuchte und Spritzwasser) und Tausalz zu schützen. Dies kann durch einen 30 cm hohen Betonsockel auf frostfreier Gründung oder durch einen 30 cm hohen wasserabweisenden Putz mit 5 cm oberhalb des angrenzenden Geländes endender mineralischer Dichtungsschlämme als Feuchteschutz sowie einer zusätzlich eingebauten Querschnittsabdichtung unterhalb des KS-Mauerwerks erfolgen.

Tafel 12 Zulässige Wandhöhen freistehender Wände mit Aussteifungen

Wanddicke <i>d</i> [cm]	Wandhöhe <i>h</i> [m]	Empfohlener Abstand <i>a</i> [m]	Aussteifungspfeiler	
			Stahlprofil (statisch erforderlich) ³⁾	Stahlbeton- querschnitt <i>b/d</i> ⁴⁾ [cm/cm]
mit oberem Querriegel				
11,5 ²⁾	1,50	5,50	I 120	35/12
	2,00	4,00	I 120	40/12
	2,50	3,50	I 120	45/12
	3,00	3,00	I 120	50/12
17,5	2,00	5,50	I 180	30/18
	2,50	4,50	I 180	35/18
	3,00	3,50	I 180	40/18
	3,50	3,00	I 180	45/18
24	2,50	8,00	I 240	30/24
	3,00	6,50	I 240	35/24
	3,50	5,50	I 240	40/24
	4,00	5,00	I 240	45/24
ohne oberen Querriegel				
11,5 ²⁾	1,00	3,50	I 120	20/12
	1,50	3,00	I 120	30/12
	2,00	2,00	I 120	40/12
17,5	1,50	3,50	I 180	20/18
	2,00	2,50	I 180	30/18
	2,50	2,00	I 180	40/18
24	2,00	5,00	I 240	20/24
	2,50	4,00	I 240	25/24
	3,00	3,00	I 240	30/24

¹⁾ Die Angaben gelten für ein Mischprofil der Geländekategorien I–II (Regelprofil im Binnenland) der Windlastzone 2.

²⁾ Mindestens Steindruckfestigkeitsklasse 12

³⁾ Aus konstruktiven Gründen werden größere Stahlquerschnitte empfohlen.

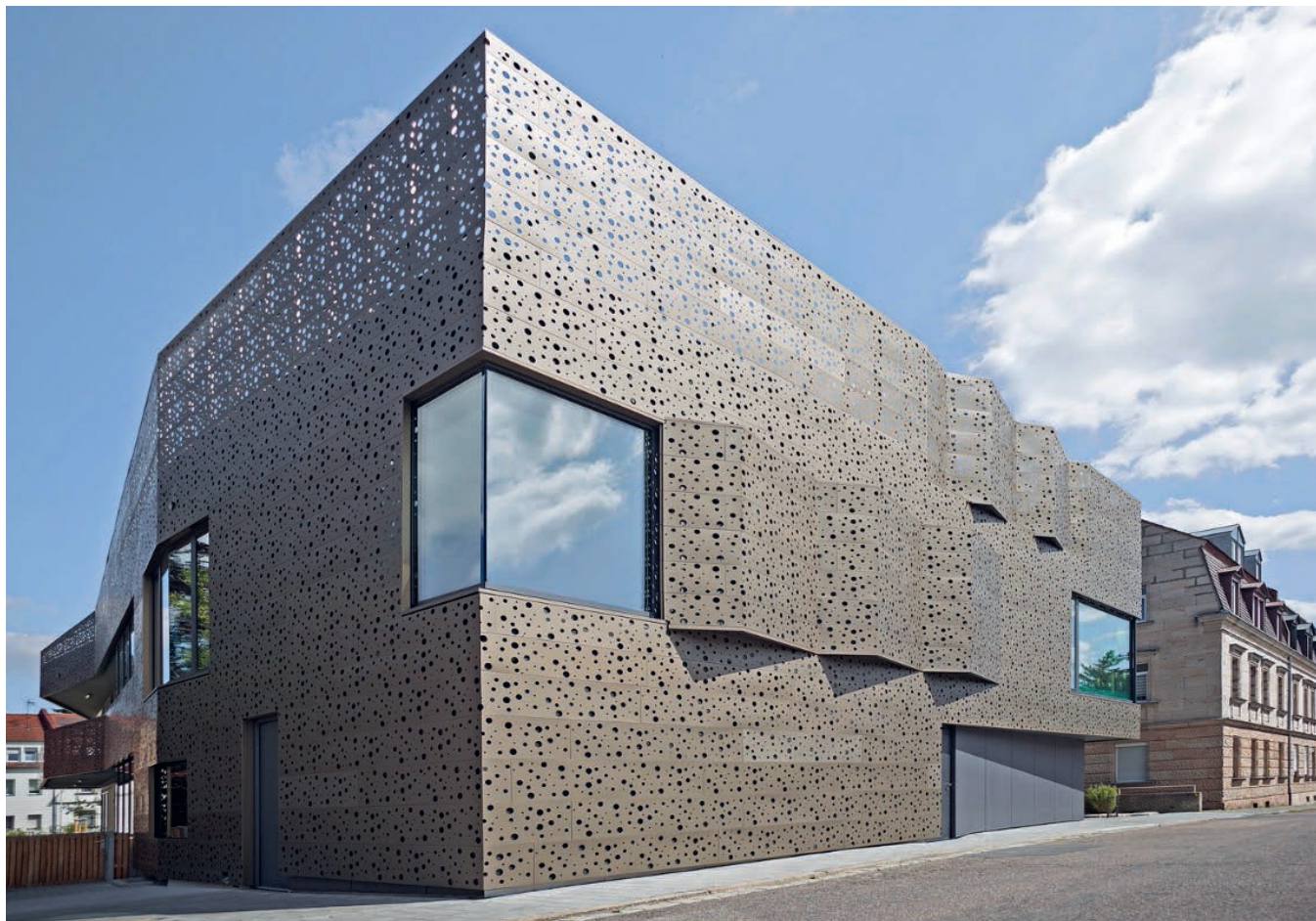
⁴⁾ Bewehrung gemäß statischem Nachweis

¹⁾ Die Angaben gelten für ein Mischprofil der Geländekategorien I–II (Regelprofil im Binnenland) der Windlastzone 2.

²⁾ Mindestens Steindruckfestigkeitsklasse 12

³⁾ Aus konstruktiven Gründen werden größere Stahlquerschnitte empfohlen.

⁴⁾ Bewehrung gemäß statischem Nachweis



Literatur

- [1] DIN EN 1996-1-1: 2013-02 und Entwurf 2019-09 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- [2] DIN EN 1996-1-2: 2011-04 und Entwurf 2022-10 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [3] DIN EN 1996-2: 2010-12 und Entwurf 2022-10: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- [4] DIN EN 1996-3: 2010-12 und Entwurf 2021-10: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrtes Mauerwerk
- [5] DIN 1055-4: 2005-03 mit Berichtigung 1 von 2006-03: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten
- [6] DIN 4108-2: 2013-02 und Entwurf 2024-12: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestwärmeschutz
- [7] DIN 4108-3: 2018-10 und Entwurf 2024-03: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz
- [8] DIN 4108-7: 2011-01 und Entwurf 2024-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- [9] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG); 2024-01
- [10] DIN V 18599: 2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
- [11] DIN TS 4108-8: 2022-09: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden
- [12] DIN 4108-10: 2021-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe

- [13] DIN EN ISO 6946: 2018-03: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren
- [14] DIN 4108 Beiblatt 2: 2019-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele
- [15] DIN 4109-1: 2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen
- [16] DIN 4109-5: 2020-08: Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen
- [17] VDI 4100: 2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz
- [18] DIN 18540:2014-09: Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen
- [19] DIN 18542:2020-04: Imprägnierte Fugendichtungsbänder aus Schaumkunststoff zur Abdichtung von Außenwandfugen – Anforderungen und Prüfung
- [20] DIN 18533-1: 2017-07 und E 2023-10: Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- [21] DIN EN 13501-1: 2019-05: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
- [22] DIN 4102-1: 1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [23] DIN 1991-1-1: 2010-12 und Entwurf 2023-04: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichte von Baustoffen und Lagergütern, Eigengewicht von Bauwerken und Nutzlasten im Hochbau
- [24] DIN 1991-1-4: 2010-12 und Entwurf 2024-03: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Windlasten
- [25] Graubner, C.-A., Schmitt, M.: Tragverhalten freistehender windbeanspruchter Wände aus Kalksandstein nach DIN EN 1996/NA, Gutachten 120243 von 06/2013
- [26] DIN 13914-1: 2016-09: Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Außenputze
- [27] Richtlinien für die Ausführung von Klempnerarbeiten an Dach und Fassade, Klempnerfachregeln, Ausgabe: 06/2018, Hrsg.: Zentralverband Heizung, Sanitär, Klima, Sankt Augustin
- [28] WTA-Merkblatt 3-17 „Hydrophobierende Imprägnierungen von mineralischen Baustoffen“, Ausgabe 06/2010, Hrsg.: Wissenschaftlich technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München
- [29] E DIN EN 17237: 2022-02: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme mit Putzoberfläche (WDVS)
- [30] DIN EN 13499: 2003-12: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol
- [31] DIN EN 13500: 2003-12: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle
- [32] DIN 55699: 2017-08: Anwendung und Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) mit Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) oder Mineralwolle (MW)
- [33] WTA-Merkblatt 2-4 „Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden“, Ausgabe 2014, Hrsg.: Wissenschaftlich technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München
- [34] ETAG 004 Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen für Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme mit Putzschicht, Ausgabe 03/2000 -
- [35] ISO 7892: 1988-08: Vertikale Bauwerksteile; Prüfung der Stoßfestigkeit; Stoßkörper und allgemeine Prüfverfahren
- [36] Oberhaus, Heribert: Risiken bei Riemchenbekleidung auf Wärmedämmverbundsystemen? Hinweise zur Planung, Ausführung und Beurteilung, in: Aachener Bausachverständigentage 2022
- [37] Oberhaus, Heribert; Bretz, Thomas: Wärmedämmverbundsysteme – Wärmeschutz in Alt- und Neubau, Heft 3, 03/2024, in: Baurechtliche und -technische Themensammlung, IRB Verlag, Stuttgart
- [38] Merkblatt „Totale solare Reflexion und Hellbezugswert“, Ausgabe 04/2014, Hrsg.: Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V., Berlin
- [39] Merkblatt „Mikrobiologischer Bewuchs auf Fassaden – Algen und Pilze“, Ausgabe 2020, Hrsg.: Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V., Berlin
- [40] Merkblatt 2 „Entscheidungshilfe zur Verringerung des Biozideinsatzes an Fassaden“, Ausgabe 2023, Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin
- [41] DIN 18516-1: 2024-10: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze
- [42] DIN 68800-2: 2022-02: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
- [43] FHVf-Leitlinie: Planung und Ausführung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF), Ausgabe 11/2017, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
- [44] FVHF-Fokus: Schadenfreies Bauen mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Ausgabe 10/2007, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
- [45] FVHF-Leitlinie zur Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Ausgabe 1998, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
- [46] FVHF-Leitlinie Brandschutztechnische Vorkehrungen für vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) nach DIN 18516-1, Ausgabe 03/2016, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
- [47] WTA-Merkblatt 2-5-97 „Anti-Graffiti-Systeme“, Ausgabe 2014, Hrsg.: Wissenschaftlich technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München

Bildnachweise

Bild S. 94: Unika/Sven Erik Tornow;
 Bild S. 100: Csaba Mester/KS-ORIGINAL;
 Bild S. 103: Erich Spahn/KS-ORIGINAL;
 Bild 16: Halfen; Bild S. 114: UNIKA GmbH;
 Bild S. 122: Zapf Daigfuss

Bild 7, Bild 10, Bild 12, Bild 24, Bild 25,
 Bild 35, Bild S. 119, Bild 43:
 Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.