



Kapitel 2

AUSSENWÄNDE

Stand: 01/2018

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt, TU Berlin,
Dipl.-Ing. Michael Schober, TU Berlin



1. Anforderungen

Von der Kalksandsteinindustrie wird bereits seit Jahrzehnten erfolgreich das Konzept der KS-Funktionswand verfolgt. Kennzeichnend ist die konsequente funktionale Trennung zwischen der tragenden Schicht aus KS-Mauerwerk, der Wärmedämmung und dem dauerhaften Witterungsschutz. Die aus diesem Ansatz resultierende individuelle Anpassungsfähigkeit von KS-Außenwänden erweist sich vor allem bei steigenden Anforderungen – z.B. im Bereich des Wärme- oder Schallschutzes – als zukunftsorientiert.

Als baulich prägender Bestandteil der Gebäudehülle sind (tragende) Außenwände den vielfältigsten Einwirkungen und Beanspruchungen ausgesetzt, zu nennen sind:

- Eigenlasten und Nutzlasten
- Winddruck- und Windsoglasten
- Schnee- und Eislasten
- Temperatur- und Feuchtewechsel
- Schlagregen
- Sonnen-/UV-Strahlung
- Außenlärm
- Chemische Beanspruchung durch Schadstoffe oder Reinigungsmittel
- Vandalismus

Aus diesen Einwirkungen leiten sich zunächst Anforderungen in statischer, bauphysikalischer und baukonstruktiver Hinsicht ab, die durch die Außenwandkonstruktion erfüllt werden müssen:

- Standsicherheit
- Brandschutz
- Winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz
- Feuchte- und Witterungsschutz
- Schallschutz
- Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

In Verbindung mit diesem primär bautechnisch orientierten Anforderungsprofil müssen Außenwandkonstruktionen weiteren zentralen Bedingungen und Erfordernissen genügen:

- Hygiene und Gesundheitsschutz
- Ökologie
- Wirtschaftlichkeit
- Ästhetik



Durch die Vielzahl der möglichen Konstruktionsvarianten bieten funktionsgetrennte KS-Außenwände die Möglichkeit, für jeden einzelnen Anwendungsfall individuell optimierte Lösungen auszuführen.

1.1 Standsicherheit

Die Standsicherheit der Außenwandkonstruktion muss dauerhaft gewährleistet sein (Musterbauordnung MBO §12 [1] und Landesbauordnungen LBO). Die Planung und Ausführung von Mauerwerk sind durch Eurocode 6 [2] (DIN EN 1996-1-1 bis DIN EN 1996-3 mit jeweils Nationalem Anhang/NA) geregelt. Der Nachweis der Standsicherheit kann bei Einhaltung konstruktiver Begrenzungen im vereinfachten Verfahren nach DIN EN 1996-3/NA oder im genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA erfolgen. Dabei sind neben den Eigen- und Nutzlasten sowie den Winddruck- bzw. Windsoglasten im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit auch mögliche Zwängungsspannungen aus hygrothermischer Beanspruchung zu berücksichtigen.



1.2 Brandschutz

Der Gegenstand der bauaufsichtlichen Regelungen zum Brandschutz ist in erster Linie der Personenschutz im Brandfall. Die Anforderungen an die erforderlichen Baustoff- und Feuerwiderstandsklassen ergeben sich in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse unmittelbar aus den Vorgaben der Landesbauordnungen. Der Nachweis eines ausreichenden Brandschutzes erfolgt unter Berücksichtigung von DIN EN 13501 [3] und der verbleibenden nationalen Normteile von DIN 4102 [4] sowie mit der konkreten Tragwerksbemessung des KS-Mauerwerks im Brandfall nach DIN EN 1996-1-2/NA.

Von besonderer Bedeutung für Außenwände ist darüber hinaus die Vermeidung einer Brandausbreitung über die Fassadenfläche. Die diesbezüglich ergänzenden und auch baukonstruktiv konkretisierenden Vorgaben sind für zweischaliges KS-Mauerwerk der DIN 4102-4 und für Wärmedämm-Verbundsysteme mit Europäischer Technischer Bewertung (ETA) sowie für hinterlüftete Außenwandbekleidungen der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) [5] zu entnehmen. Für Wärmedämm-Verbundsysteme mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) gelten die konkreten Zulassungsbestimmungen zur Ausführung.

1.3 Wärmeschutz

Die Anforderungen an den *winterlichen* und *sommerlichen* Wärmeschutz sind festgelegt in:

- DIN 4108 [6]
- Energieeinsparverordnung (EnEV) [7]

Für die KS-Funktionswand wird durch die klare funktionale Trennung zwischen dem KS-Mauerwerk und der Wärmedämmung die tages- und jahreszeitliche Temperaturamplitude in der tragenden Schicht im Vergleich zu anderen Konstruktionen erheblich reduziert (Bild 1). Dies führt zu geringeren Zwängungs- und Eigenspannungen und damit zu einer höheren Rissicherheit. Des Weiteren ergibt sich in der kalten Jahreszeit eine deutliche Erhöhung der Temperatur an den Bauteilinnenoberflächen. Das erhöht die Behaglichkeit für die Nutzer und verhindert eine Schimmelpilz- oder Tauwasserbildung an den Innenoberflächen. Zentraler Kennwert des baulichen Wärmeschutzes ist in diesem Zusammenhang der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), typische U-Werte für KS-Außenwände sind Tafel 1 zu entnehmen.

1.3.1 Anforderungen nach DIN 4108

In DIN 4108 sind Mindestanforderungen an den Wärmeschutz definiert, bei deren Einhaltung zunächst nur feuchtebedingte Gefährdungen und unzumutbare Bedingungen für die Nutzer sowie Schädigungen der Baukonstruktion ausgeschlossen werden sollen. Geregelt sind in diesem Zusammenhang der winterliche und der sommerliche Wärme-

schutz, der klimabedingte Feuchteschutz sowie die Luftdichtheit:

- Winterlicher Wärmeschutz
Ziel des winterlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 ist die Gewährleistung einer ausreichenden raumseitigen Oberflächentemperatur der Gebäudehülle, bei der eine Gefährdung durch Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung ausgeschlossen werden kann.
- Sommerlicher Wärmeschutz
Mit den in DIN 4108-2 festgelegten Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz soll eine für die Nutzer unzumutbare Erhöhung der Raumtemperatur durch die Sonneneinstrahlung ausgeschlossen werden. Maßgebend sind u.a. der Fensterflächenanteil, der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung und die Effektivität von Sonnenschutzvorrichtungen sowie insbesondere die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile und die Möglichkeit einer erhöhten Nachtlüftung. So kann z.B. durch massive Bauteile mit hoher Wärmespeicherfähigkeit (wie bei Wänden aus KS-Mauerwerk) ein großer Teil der am Tag eingetragenen Energie aufgenommen, zeitverzögert in den Nachtstunden wieder abgegeben und damit der Temperaturverlauf in den tageszeitlichen Spitzen deutlich gedämpft werden. Ziel der Anforderungen ist es, durch geeignete bauliche Maßnahmen – hier bereits im Sinne der Energieeinsparverordnung – auf eine aktive Kühlung (Klimatisierung) verzichten zu können.
- Klimabedingter Feuchteschutz
Durch den klimabedingten Feuchteschutz nach DIN 4108-2 und DIN 4108-3 soll neben der Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelpilzbildung der Schutz gegen direkt einwirkenden Schlagregen (einschließlich Spritzwasser) sichergestellt werden. Eine detaillierte Darstellung ist dem Abschnitt 1.4 zu entnehmen.
- Luftdichtheit
Mit der Luftdichtheit nach DIN 4108-7 soll eine ungewollte Luftströmung durch die Gebäudehülle (Infiltration) als signifikante Beeinträchtigung des Wärmeschutzes verhindert werden. Die Luftdichtheit eines Gebäudes kann mit dem Differenzdruckverfahren (Blower-Door-Test) vor Ort geprüft werden. In Bezug zum Wärmeschutz nach Energieeinsparverordnung darf bei einer erfolgreichen Prüfung ein geringerer rechnerischer Lüftungswärmeverlust im Nachweisverfahren angesetzt werden.

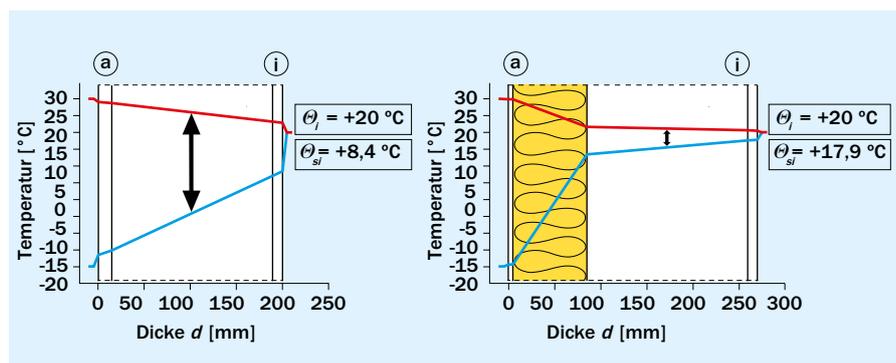
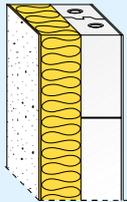
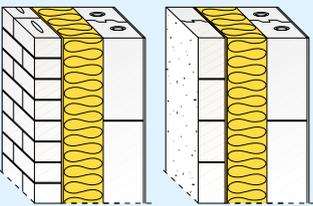
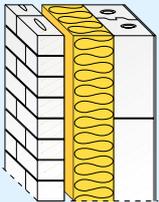
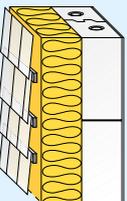
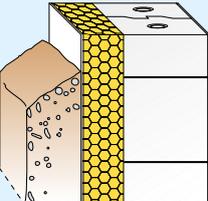


Bild 1 Minimale Innenoberflächentemperatur θ_{si} sowie jahreszeitlich bedingte Temperaturänderung des KS-Mauerwerks mit und ohne Wärmedämmung

Tafel 1 U-Werte von KS-Außenwänden (Beispiele)

	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	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,01 m Innenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	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	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,01 m Innenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt $R = 0,15 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,115 m ²⁾ KS-Verblendschale $\lambda = 1,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (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	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,01 m Innenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 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 ²⁾ 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	
	31,5	10	-	-	0,28	0,30	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,01 m Innenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 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	-	-	0,24	0,26	
	37,5	16	-	-	0,18	0,20	
	41,5	20	-	-	0,15	0,16	
	45,5	24	-	-	0,13	0,14	
	51,5	30	-	-	0,10	0,11	
	47,5	10	-	-	-	0,34	Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung) $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,01 m Innenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Perimeterdämmung ³⁾ Typ PW $R_{se} = 0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	51,5	14	-	-	-	0,26	
	53,5	16	-	-	-	0,24	
	57,5	20	-	-	-	0,20	
	61,5	24	-	-	-	0,18	
	47,5	10	-	-	-	0,32	
51,5	14	-	-	-	0,25		
53,5	16	-	-	-	0,23		
57,5	20	-	-	-	0,20		
61,5	24	-	-	-	0,17		

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

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

²⁾ 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

³⁾ Der Zuschlag $\Delta U = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist bereits berücksichtigt.

1.3.2 Anforderungen nach Energieeinsparverordnung

Mit dem Wärmeschutz nach Energieeinsparverordnung (EnEV) sollen insbesondere die Ziele des Umweltschutzes – und hier konkret der schonende Umgang mit begrenzten Ressourcen sowie die kontinuierliche Reduzierung des Schadstoffausstoßes – im Bauwesen umgesetzt werden, die gleichzeitig auch zur Senkung der Betriebskosten beitragen. Mit diesen Zielen können zwei zentrale Anforderungen der Energieeinsparverordnung benannt werden:

- Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs
Durch die effektive Kombination der wärmeschutztechnischen Gestaltung der Gebäudehülle mit den Möglichkeiten (und Erfordernissen) der technischen Gebäudeausrüstung ist der jährliche Energiebedarf auf einen zielorientierten Höchstwert zu begrenzen.
- Begrenzung des Transmissionswärmeverlustes
Der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene spezifische Transmissionswärmeverlust ist – als eigenständige Anforderung an die bauliche Gestaltung – ebenfalls auf einen vorgegebenen Höchstwert zu begrenzen, d.h., dass die Gebäudehülle im Mittel der einzelnen Bauteile (Dach, Außenwände, Fenster, etc.) einen hohen baulichen Wärmeschutz aufweisen muss.

Bei der Ermittlung des für die bauliche Energieeffizienz maßgebenden U-Werts ist der Einfluss etwaiger Beeinträchtigungen durch Wärmebrücken – z.B. infolge von Verankerungen mit Dübeln, Konsolen, Wandhaltern etc. – zu berücksichtigen, sofern sich durch diese Bewertung eine Korrektur um mehr als 3 % ergeben sollte. Weitergehende konstruktive Vorgaben zur Vermeidung von Wärmebrücken können u.a. dem Beiblatt 2 zu DIN 4108 und dem KS-Wärmebrückenkatalog [8] entnommen werden.

1.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Der Feuchte- und Witterungsschutz von Außenwandkonstruktionen ist zu verstehen als Schutz vor:

- Tauwasserbildung im Wandinnern (DIN 4108-3)
- Tauwasserbildung und Schimmelpilzgefährdung auf der raumseitigen Wandoberfläche (DIN 4108-2)
- Schlagregen und Spritzwasser (DIN 4108-3)

1.4.1 Begrenzung der Tauwasserbildung im Wandinnern

Es ist nachzuweisen, dass das ggf. in der Tauperiode (Wintermonate) im Innern von Außenbauteilen anfallende Tauwasser in der Verdunstungsperiode (Sommermonate) wieder ausdiffundieren kann. Gleichzeitig ist die anfallende Tauwassermenge auf 1,0 kg/m² bei kapillar wasseraufnahmefähigen Bauteilschichten und auf 0,5 kg/m² bei kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Bauteilschichten zu begrenzen. Dabei dürfen Baustoffe, die mit Tauwasser in Berührung kommen, nicht geschädigt werden. Für Konstruktionen aus Holz oder Holzwerkstoffen muss deshalb die Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehaltes begrenzt werden, zulässig ist eine Erhöhung um

maximal 5 M.-% bei Holz bzw. um maximal 3 M.-% bei Holzwerkstoffen.

INFO

Schon bei Einhaltung des Mindestwärmeschutzes sind alle KS-Außenwandkonstruktionen (Tafel 1) hinsichtlich der Wasserdampfkondensation unkritisch und bedürfen nach DIN 4108-3 keines Nachweises für den Tauwasserausfall im Wandinnern.

1.4.2 Vermeidung von Tauwasserbildung und Schimmelpilzgefährdung auf der raumseitigen Wandoberfläche

Um Tauwasserbildung auf der raumseitigen Oberfläche von Außenbauteilen zu vermeiden, muss durch eine ausreichende Wärmedämmung sichergestellt sein, dass die Oberflächentemperatur die Taupunkttemperatur nicht unterschreitet. Der Nachweis erfolgt unter Annahme von standardisierten Klimarandbedingungen. Nutzungsbedingte Beeinträchtigungen (wie ein stark behinderter Wärmeübergang durch Möblierung oder Vorhänge) sollten dabei entsprechend berücksichtigt werden.

Umfangreiche Untersuchungen (z.B. [9]) zeigen, dass auch ohne sichtbaren Tauwasseranfall bereits eine oberflächen-nahe relative Luftfeuchte ab zeitweise 80 % ausreichend ist, um Schimmelpilzbildung zu fördern. Zusätzlich zur Vermeidung von Tauwasserbildung wird deshalb in DIN 4108-2 die folgende Anforderung gestellt:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0,7 \quad [-] \quad (1.1)$$

mit

- f_{Rsi} Temperaturfaktor für die Bauteiloberfläche
- θ_{si} Erforderliche raumseitige Oberflächentemperatur [°C]
- θ_i Innenlufttemperatur [°C] ($\theta_i = 20$ °C bei einer relativen Raumluftfeuchte $\theta_i \leq 50$ %)
- θ_e Außenlufttemperatur [°C] ($\theta_e = -5$ °C)

Grundlage ist unter der Voraussetzung eines sachgerechten Heiz- und Lüftungsverhaltens auch hier die Annahme von standardisierten Klimarandbedingungen. Mit diesem Ansatz wird in DIN 4108-2 explizit formuliert, dass die raumseitige Oberflächentemperatur – auch im Bereich von Wärmebrücken – durchgängig mindestens 12,6 °C betragen muss, damit sich an der raumseitigen Oberfläche eine relative Luftfeuchte von nicht mehr als 80 % einstellt und so die Gefahr von Schimmelpilzbildung ausgeschlossen werden kann. Hinweise zum sachgerechten Nutzerverhalten können z.B. [10] und [11] entnommen werden.

Die notwendige raumseitige Oberflächentemperatur wird durch den normativ geforderten Mindestwärmeschutz im normalen Flächenbereich gewährleistet. Da die Oberflächentemperatur über die gesamte Gebäudehüllfläche eingehalten werden muss, ist jedoch der Einfluss von ggf. vorhandenen geometrisch oder konstruktiv bedingten Wärmebrücken (z.B. durch Verankerungselemente) zu erfassen und durch eine wärmeschutztechnisch optimierte Gesamtgestaltung und Detailausbildung auf ein unkritisches Maß zu minimieren.

1.4.3 Schutz vor Schlagregen und Spritzwasser

Nach DIN 4108-3 werden die Beanspruchungsgruppen I (geringe Schlagregenbeanspruchung) bis III (starke Schlagregenbeanspruchung) definiert in Abhängigkeit von

- regionalen klimatischen Bedingungen (Regenmenge und Windstärke),
- örtlicher Lage (windgeschützt oder windausgesetzt) sowie
- Gebäudeart (Hochhaus oder Flachbau).

In DIN 4108-3 werden Beispiele genormter Wandkonstruktionen angegeben, die den Anforderungen an die jeweiligen Beanspruchungsgruppen genügen, ohne andere Konstruktionen mit entsprechend gesicherter, praktischer Erfahrung auszuschließen. Zu diesen Beispielen gehören u.a.:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit allgemein bauaufsichtlich zugelassenem Wärmedämm-Verbundsystem
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung nach DIN 18516

Für den Spritzwasserbereich (≤ 30 cm über Geländeoberkante) sind besondere konstruktive Maßnahmen zu ergreifen, wie z.B. eine Ausführung mit durchgängig wasserabweisenden Sockelputzen. Darüber hinaus ist zu empfehlen, an den Gebäudeaußenflächen einen ca. 50 cm breiten und 20 cm tiefen Kiestreifen anzuordnen, um die Bildung von Spritzwasser bei Niederschlägen und eine damit auch einhergehende Verschmutzung der Oberfläche zu reduzieren.

1.5 Schallschutz

Die bauaufsichtlichen Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm beziehen sich auf den Gesundheitsschutz nach jeweiliger Landesbauordnung und sind in DIN 4109 [12] in Abhängigkeit von der Nutzung des Gebäudes und dem maßgeblichen Außenlärmpegel geregelt.

Maßgebend für die Direktschalldämmung von massiven Außenwandkonstruktionen ist das Mauerwerk. Der Einfluss zusätzlicher Bauteilschichten auf das diesbezüglich kennzeichnende bewertete Schalldämm-Maß ist jedoch nachzuweisen (z.B. bei Wärmedämm-Verbundsystemen aufgrund des Resonanzverhaltens). Für die Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung innerhalb des Gebäudes wird bei funktionaler Trennung dagegen nur die tragende Schicht betrachtet, die Bauteilschichten der Wärmedämmung und des Witterungsschutzes tragen nicht zur Schalllängsleitung bei.

Die KS-Funktionswand bietet die wesentlichen Voraussetzungen für einen guten Schallschutz gegen Außenlärm und zwischen benachbarten Wohnungen, da mit einer hohen flächenbezogenen Masse des KS-Mauerwerks sowohl ein hohes Schalldämm-Maß erreicht als auch die flankierende Schallübertragung minimiert werden kann.

1.6 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

Im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit sind insbesondere die Beanspruchungen durch Temperatur- und Feuchtewechsel bezüglich möglicher Eigen- und Zwängungsspannungen zu berücksichtigen. Wie in Bild 1 gezeigt, wird im Vergleich zu anderen Konstruktionen die tages- und jahreszeitliche Temperaturamplitude der tragenden Schicht durch die funktionale Trennung von der außen liegenden Wärmedämmung erheblich reduziert und damit die Rissicherheit deutlich erhöht.

Die Dauerhaftigkeit von KS-Mauerwerk kann als bekannt vorausgesetzt werden und wird auch durch die Beständigkeit gegenüber UV-Beanspruchung und möglichem chemischen Angriff – z.B. durch Luftschadstoffe oder Reinigungsmittel – bestimmt. Für die Wärmedämmung und den Witterungsschutz mit Bauprodukten nach Norm oder nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung liegen ebenfalls umfassende positive Erfahrungen zur Dauerhaftigkeit vor.

1.7 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit ist nicht nur unter dem Aspekt der Minimierung der Erstinvestitionskosten, sondern insbesondere unter Berücksichtigung der Nutzungsphase – unter Einbeziehung u.a. der Heizenergie- und Instandhaltungskosten – im Lebenszyklus zu betrachten.

Das Konzept der KS-Funktionswand bietet vor diesem Hintergrund kostengünstige Möglichkeiten, hochdämmende Konstruktionen zu erzielen, die eine hohe Dauerhaftigkeit aufweisen und durch eine schlanke Konstruktion Nutzflächengewinne ermöglichen.



2. Konstruktionsübersicht

Im Allgemeinen können KS-Außenwandkonstruktionen entsprechend Bild 2 und Bild 3 und gemäß Tafel 2 differenziert werden.

Um dem Anspruch an ein hohes Wärmeschutzniveau gerecht zu werden, sollten bei beheizten Gebäuden nur die folgenden Konstruktionen eingesetzt werden:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung
 - KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)
 - KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung
 - KS-Kelleraußenwand mit Perimeterdämmung

Bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen oder Bauwerken ohne Anforderungen an den Wärmeschutz – wie z.B. Wirtschafts- und Industriegebäude oder landwirtschaftliche Bauten

– können KS-Außenwände ohne Wärmedämmung eingesetzt werden. Dabei kann zwischen folgenden Konstruktionen unterschieden werden:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Luftschicht (ohne Wärmedämmung)
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit Außenputz
- Einschaliges KS-Verblendmauerwerk

Tafel 2 Anwendungsbereiche von KS-Außenwandkonstruktionen

KS-Außenwandkonstruktion	Anwendung	
	Beheizte Gebäude	Sonderfälle
Zweischalige KS-Außenwand <ul style="list-style-type: none"> ■ mit Wärmedämmung ■ mit Wärmedämmung und Luftschicht ■ mit Luftschicht 	X X	X
Einschalige KS-Außenwand <ul style="list-style-type: none"> ■ mit Wärmedämm-Verbundsystem ■ mit Wärmedämmung und hinterlüfteter Außenwandbekleidung ■ mit Innendämmung 	X X	X
Einschalige KS-Außenwand ohne Wärmedämmung (verputzt oder Verblendmauerwerk)		X

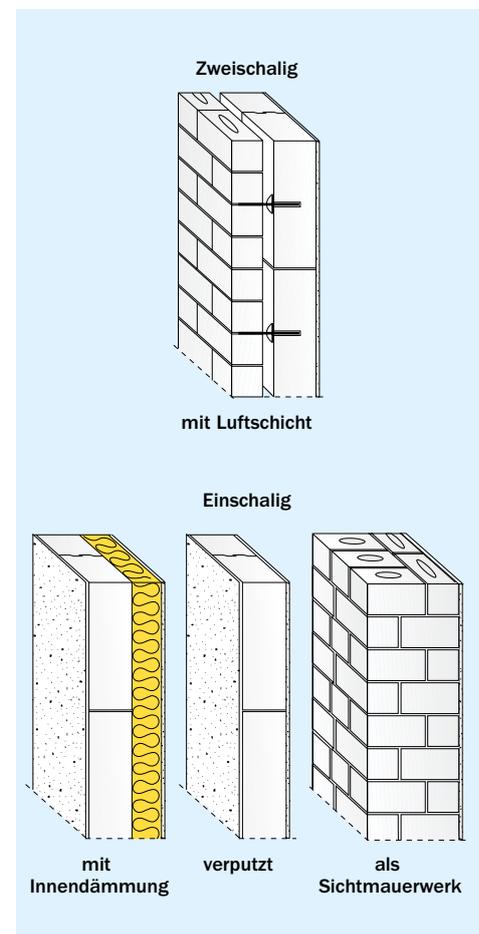
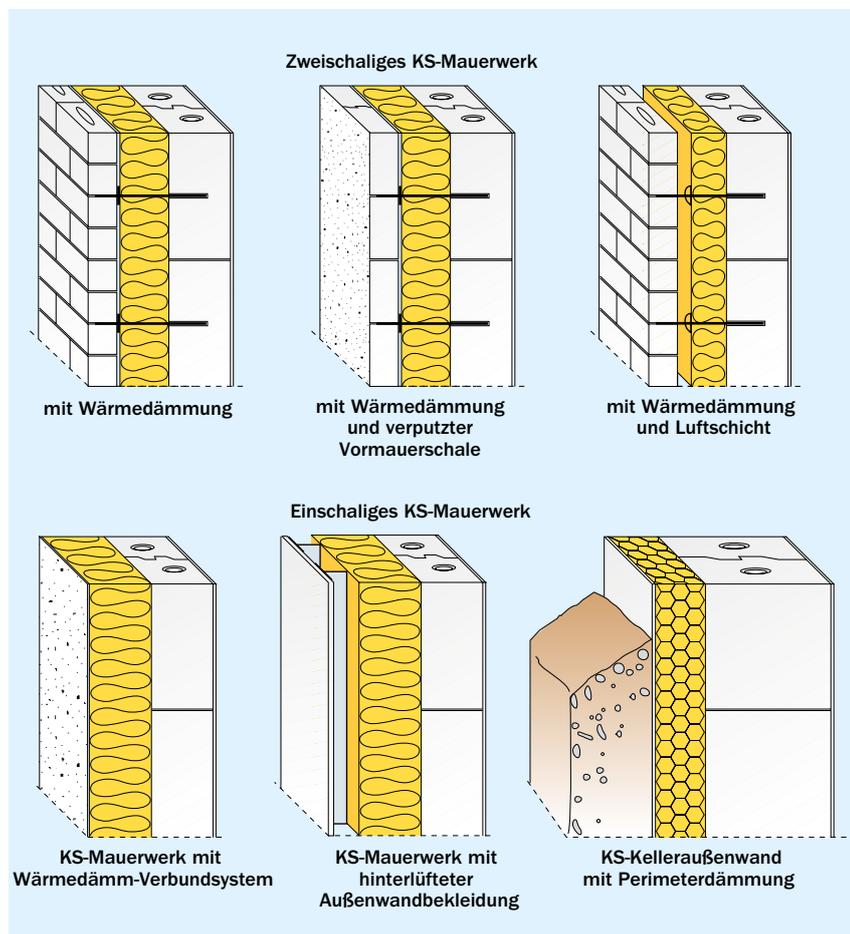


Bild 2 KS-Außenwandkonstruktionen für beheizte Gebäude

Bild 3 KS-Außenwandkonstruktionen für Sonderfälle

3. Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung

3.1 Konstruktionsprinzip

Zweischalige KS-Außenwände (zweischalige Wände mit Vorsatzschale nach DIN EN 1996-1-1) bestehen aus einer tragenden Innenschale und einer nichttragenden Außenschale, die beide aus KS-Mauerwerk erstellt werden und durch den Schalenzwischenraum getrennt sind (Bild 4). Die Außenschale kann als KS-Verblendschale oder als verputzte Vorsatzschale ausgeführt werden. Die baukonstruktive Unterscheidung erfolgt mit Bezug zum Schalenzwischenraum wie folgt:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung (früher gebräuchliche Bezeichnung: „Kerndämmung“)
- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und Luftschicht

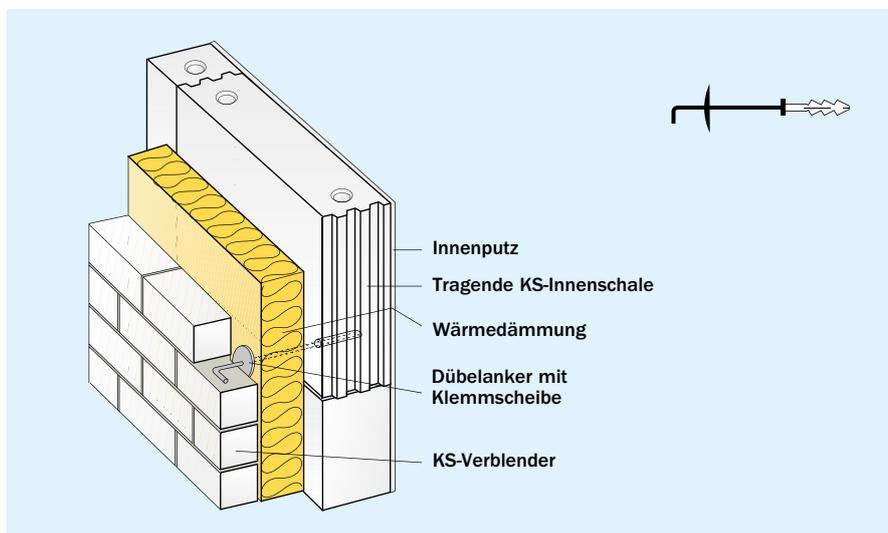


Bild 4 Systemaufbau zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmung

Bei dieser Konstruktion besteht eine klare funktionale Trennung der einzelnen Bauteilschichten. Die Innenschale ist Teil des Tragwerks und zugleich Wärmespeicher. Sofern das Mauerwerk der Innenschale ohne Stoßfugenvermörtelung ausgeführt wird, dient der Innenputz der Luftdichtheit. Die Außenschale übernimmt die Aufgaben des Witterungsschutzes. Die Wärmedämmung im Schalenzwischenraum bestimmt im Wesentlichen den Wärmeschutz. Die beiden massiven Schalen zusammen ergeben den besonders guten Schutz gegen Außenlärm.

3.2 Entwicklung

Konstruktionen mit zweischaligem Mauerwerk sind bereits aus dem römischen Reich bekannt (siehe Vitruv: „De Architectura Libri Decem“, 2. Buch).

Zweischaliges KS-Mauerwerk hat sich aufgrund der hohen Dauerhaftigkeit seit vielen Jahrzehnten im Wohnungs- und Verwaltungsbau vor allem in Gegenden mit hoher Schlagregenbeanspruchung hervorragend bewährt.

3.3 Baurechtliche Regelung

Zweischaliges Mauerwerk wird durch DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-2 mit jeweils Nationalem Anhang (NA) geregelt. Hier ist insbesondere auf die detaillierten Festlegungen für die Planung und Ausführung im Anhang NA.D von DIN EN 1996-2/NA zu verweisen.

Für die Dämmstoffe gelten die Regelungen der DIN 4108-10 für den Anwendungsbereich WZ (Dämmung von zweischaligen Wänden, Kerndämmung).

Für einzelne Konstruktionskomponenten können darüber hinaus allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (z.B. für Anker oder für Dämmstoffe) erforderlich werden.

3.4 Komponenten

3.4.1 Tragende KS-Innenschale

Die mindestens 115 mm dicke Innenschale ist als Teil des Tragwerks im vereinfachten Verfahren mit gewissen konstruktiven Begrenzungen nach DIN EN 1996-3/NA oder im genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA zu bemessen. Aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität dient die tragende Innenschale zudem als ausgleichender Wärmespeicher insbesondere für den sommerlichen Wärmeschutz. Darüber hinaus resultiert aus der hohen Rohdichte ein ebenfalls hoher Schallschutz.

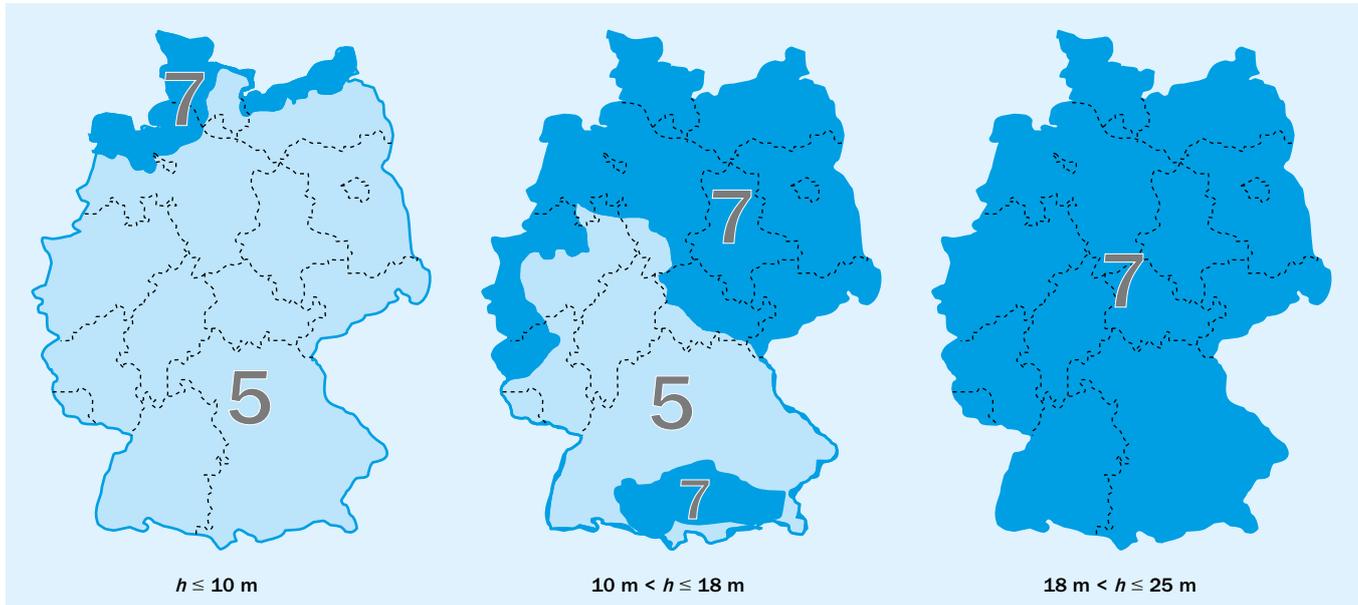


Bild 5 Erforderliche Ankeranzahl im Binnenland in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und Windlastzone

3.4.2 Anker

Die nichttragende Außenschale ist mit der tragenden Innenschale nach DIN EN 1996-2/NA durch Anker aus nicht rostendem Stahl zu verbinden, deren Verwendung durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ggf. in Verbindung mit DIN EN 845-1 geregelt ist.

Für Drahtanker, die in Form und Maßen DIN EN 1996-2/NA Anhang D, Bild NA.D.1 entsprechen, ist die Mindestanzahl der Drahtanker je Quadratmeter Wandfläche in Abhängigkeit von der Höhe der Wandbereiche über dem Gelände und der Windlastzone in Tabelle NA.D.1 festgelegt (Tafel 3 und Bild 5). Zusätzlich müssen an freien Rändern der Außenschale – wie im Bereich von Dehnungsfugen, an Gebäudekanten, am oberen Ende sowie umlaufend um Wandöffnungen – drei Drahtanker je Meter Randlänge angeordnet werden (Bild 6). Nach Landkreisen sortierte Windlastzonen werden durch das *Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt)* unter <http://www.dibt.de/de/Service/Dokumente-Listen-TBB.html> („Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen“) zur Verfügung gestellt.

Der lichte Abstand der beiden Schalen (d.h. die Dicke des Schalenzwischenraums) darf nach Norm höchstens 150 mm betragen. Der vertikale Abstand der Drahtanker soll höchstens 500 mm, der horizontale Abstand höchstens 750 mm betragen.

Für größere Schalenabstände können Luftschichtanker mit anderer Form (z.B. profilierte Flachstahlanker) nach den Anwendungsregelungen der jeweiligen Zulassung verwendet werden. So sind derzeit Schalenabstände bis zu 250 mm möglich. Für großformatige KS XL-Panelemente ist zudem ein vertikaler Abstand der Anker bis zu 650 mm geregelt.

Luftschichtanker zum Einlegen (Tafel 4) werden beim Aufmauern in die Lagerfugen der Innenschale eingelegt. Für Mauerwerk mit Normalmauermörtel ist dabei mindestens die Mörtelgruppe NM IIa erforderlich. Für Planstein-Mauerwerk mit Dünnbett-

Tafel 3 Mindestanzahl der Anker je m² Wandfläche nach DIN EN 1996-2/NA

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 m < $h \leq 18$ m	7 ²⁾	8	9
18 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.

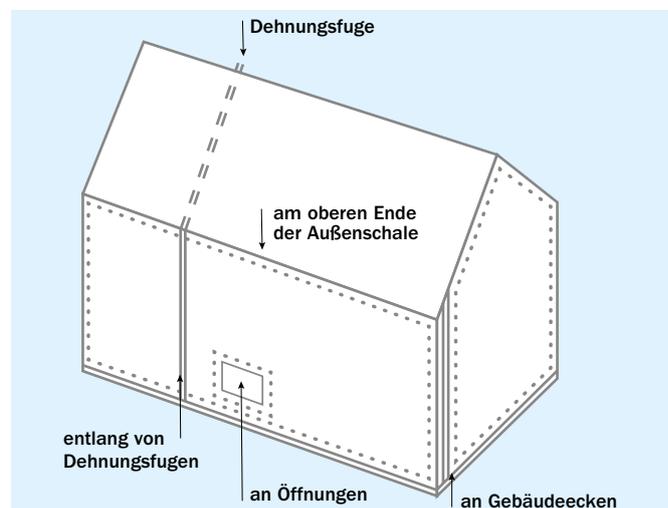


Bild 6 Anordnung zusätzlicher Drahtanker (3 Stück je m) nach DIN EN 1996-2/NA

mörtel werden entsprechend profilierte Flachstahlanker verwendet.

Ist das Einlegen der Anker in den Lagerfugen nicht möglich, können *Luftschichtanker zum Eindübeln* (Tafel 5 und Bild 7) eingesetzt werden. Nach den Zulassungen sind dabei für die Innenschale KS-Vollsteine der Steindruckfestigkeitsklasse ≥ 12 mit Normalmauermörtel \geq NM II oder Dünnbettmörtel erforderlich. Dübelanker dürfen nicht in die Lager- oder Stoßfuge gesetzt werden. Der Abstand der Dübel zu den Steinrändern muss mindestens 30 mm betragen.

Bei zweischaligen Außenwänden werden in der Regel Klemmscheiben auf die Anker aufgeschoben, die den Dämmstoff in seiner Lage fixieren.

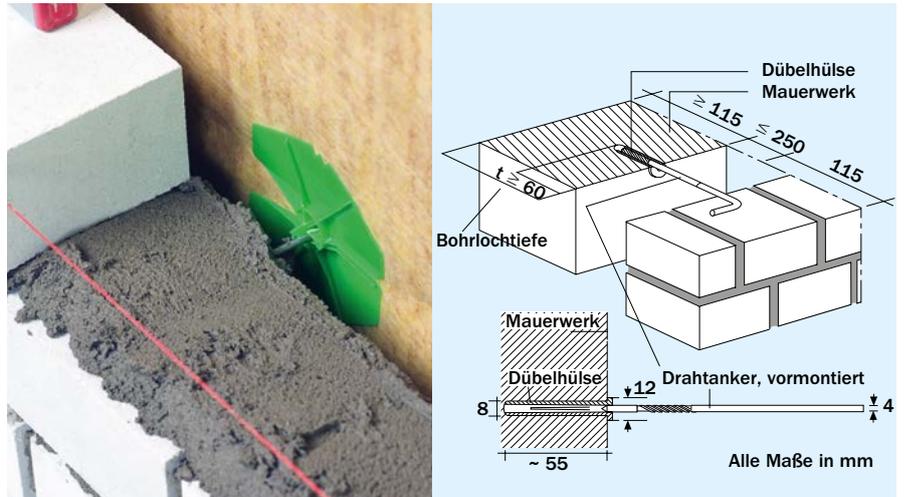


Bild 7 Dübelanker mit Klemmscheibe im eingebauten Zustand (links) und als Prinzipskizze (rechts)

Tafel 4 Luftschichtanker zum Einlegen beim Aufmauern

Schalensabstand	40 bis 150 mm	100 bis 170 mm	100 bis 200 mm	120 bis 200 mm	≤ 200 mm	> 200 bis 250 mm
Tragschale	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III oder KS-Plansteine / KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa/III oder KS-Plan-/KS-Fasensteine/KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III, KS-Plansteine/ KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa/III oder KS-Plan-/KS-Fasensteine/KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel \geq NM IIa	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III oder KS-Plansteine / KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel
Ankerlänge	103 bis 213 mm	250 bis 320 mm	250 bis 340 mm	280 bis 360 mm	275 bis 350 mm	380 bis 400 mm
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-1062 (Bever GmbH) ¹⁾	Z-17.1-633 (Bever GmbH) ¹⁾	Z-17.1-463 (Gebr. Bodegraven bv)	Z-17.1-888 ²⁾ (Bever GmbH)	Z-17.1-825 ¹⁾ (Bever GmbH); Z-17.1-822, Anlage 1 ¹⁾ (H & R GmbH)	Z-17.1-1155 ²⁾ (Bever GmbH); Z-17.1-1142 ¹⁾ (H & R GmbH)

¹⁾ Vormauerschale nur in Normalmauermörtel NM IIa 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 5 Luftschichtanker zum Eindübeln in die Tragschale

Max. Schalensabstand	> 150 bis 200 mm	> 200 mm bis 250 mm
Tragschale	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel \geq NM IIa, Dünnbettmörtel oder Leichtmauermörtel der Gruppe LM 36	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel \geq NM IIa, Dünnbettmörtel oder Leichtmauermörtel der Gruppe LM 36
Ankerdurchmesser	4 mm	4 mm
Bohrerdurchmesser	8 mm	8 mm
Bohrlochtiefe	≥ 60 mm	≥ 60 mm
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-825 mit Dübeln nach Z-21.2-1009 (Bever GmbH); Z-17.1-822, Anlage 2 mit Dübeln nach Z-21.2-1732 (H&R GmbH)	Z-17.1-1138 mit Dübeln nach Z-21.2-1009 (Bever); Z-17.1-1142 mit Dübeln nach Z-21.2-1732 (H&R GmbH)

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

3.4.3 Wärmedämmung

Unabhängig von der Konstruktionsart (Wärmedämmung mit oder ohne Luftschicht) sind Dämmstoffe für den Anwendungsbereich WZ nach DIN 4108-10 bzw. mit entsprechender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung zu verwenden.

Verwendung finden vorwiegend Dämmplatten:

- aus Mineralwolle (auch als Matten)
- aus expandiertem (EPS) oder extrudiertem (XPS) Polystyrol-Hartschaum
- aus Polyurethan-/Polyisocyanurat-Hartschaum (PUR/PIR)
- aus Phenolharz-Hartschaum (PF)

Die Dämmplatten sind ausreichend zu fixieren, so dass eine gleichmäßige Schichtdicke sichergestellt ist. Das heißt auch, dass bei *zweischaligen Außenwänden mit Wärmedämmung und Luftschicht* die Luftschicht nicht durch Unebenheiten der Wärmedämmung eingeengt werden darf. Um Wärmeverluste in den Stoßbereichen dauerhaft zu verhindern, sind Dämmplatten aus Mineralwolle dicht zu stoßen und Dämmplatten aus Hartschaum mit Stufenfalz bzw. Nut und Feder auszubilden oder in versetzten Lagen zu verlegen.

Neben festen Dämmstoffen können auch (nachträglich) lose eingebrachte/eingeblassene Dämmstoffe mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung – wie z. B. Mineralwolle-, EPS- oder

Perlite-Granulat – verwendet werden. Der Dämmstoff muss den Schalenzwischenraum vollständig ausfüllen und ausreichend verdichtet werden, um eine nachträgliche Setzung zu verhindern.

3.4.4 Luftschicht

Auf die Anordnung einer Luftschicht zusätzlich zur Wärmedämmung wird mit Ausnahme eines ggf. arbeitstechnisch erforderlichen „Fingerspaltes“ üblicherweise verzichtet. Wird eine Luftschicht angeordnet, muss die Dicke mindestens 60 mm betragen. Die Dicke darf bis auf 40 mm vermindert werden, wenn der Fugenmörtel mindestens an einer Hohlraumseite abgestrichen oder Dünnbettmörtel unter Einsatz eines Mörtelschlittens verwendet wird. Die Luftschicht darf nicht durch Mörtelbrücken unterbrochen werden und ist insofern durch geeignete Maßnahmen (wie dem genannten Einsatz eines Mörtelschlittens) gegen herabfallenden Mörtel zu schützen.

3.4.5 KS-Verblendschale

In der Regel wird die Außenschale in Form von Verblendmauerwerk aus frostwiderstandsfähigen KS-Verblendern bzw. KS-Vormauersteinen ausgeführt und ist Witterungsschutz und Gestaltungselement zugleich. Als Mauerwerksverband ist ein Läuferverband mit halbsteiniger Überdeckung zu empfehlen, da auf diese Weise die Zugfestigkeit der Verblendschale erhöht wird.

Die Verfugung der KS-Verblender soll kantenbündig mit der Steinoberfläche, z.B. als konkav zurückliegender Fugenglattstrich, oder als nachträgliche Verfugung ausgeführt werden (Bild 8), so dass ein sich bei Schlagregen bildender Wasserfilm auf der Oberfläche ungehindert abfließen kann.

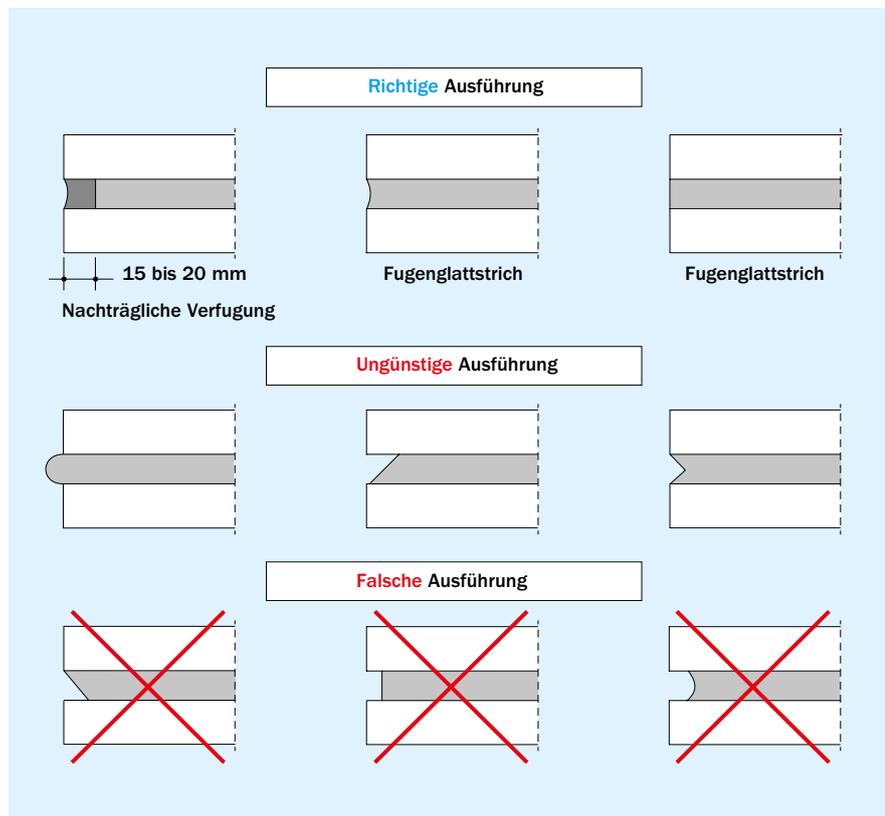


Bild 8 Fugenausbildung bei Sichtmauerwerk

INFO

Gerade für die KS-Verblendschale ist die Lieferform Werk trockenmörtel dem Baustellenmörtel vorzuziehen:

- Gleich bleibend hohe Qualität und Sicherheit durch Gewährleistung einer genaueren Dosierung der Mörtelausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle
- Abstimmung auf das jeweilige Saugverhalten der KS-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen „Mörtelverbrennen“
- Höhere Mörtel-Haftscherfestigkeit und damit hoher und schneller Haftverbund
- Einfachere Logistik durch gleichzeitige Lieferung von Steinen und Mörtel

Nach [13] bietet der Fugenglattstrich aufgrund der geringeren Anfälligkeit gegenüber Verarbeitungsfehlern im Vergleich zu einer nachträglichen Verfugung eine höhere Schlagregensicherheit. Durch das Glätten wird die Verfugung verdichtet und damit die mögliche Wasseraufnahme im Bereich der Fuge reduziert. Verblendschalen mit Dicken < 105 mm sind daher prinzipiell mit Fugenglattstrich auszuführen.

Da der Fugenglattstrich die „Regelausführung“ nach VOB DIN 18330 darstellt, muss eine abweichende Ausführung mit nachträglicher Verfugung über die Leistungsbeschreibung zudem ausdrücklich vereinbart werden.

3.4.6 Verputzte Vorsatzschale

Alternativ zum Verblendmauerwerk kann die Außenschale des zweischaligen Mauerwerks auch als verputzte Vorsatzschale ausgeführt werden (Bild 9). Da der außen liegende Putz die Wandkonstruktion vor Schlagregen schützt, werden keine Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit der Mauersteine gestellt.

Vorsatzschalen sind vertikal nicht, z.B. durch eine Geschossdecke, überdrückt, so dass thermische und hygrische Beanspruchungen zu größeren Verformungen führen können. Der Putzmörtel muss diese Verformungen schadensfrei aufnehmen können. Besonders geeignet sind deshalb Putzmörtel bzw. Putze mit niedrigem Zug-Elastizitätsmodul sowie hoher Zugbruchdehnung und Zug-Relaxation (d.h. hohem Spannungsabbau). Infrage kommen Leichtputzmörtel nach DIN EN 998-1 bzw. DIN EN 13914-1 und DIN 18550-1, auch mit Faserbewehrung. Die erforderlichen Dehnungsfugen in der Vorsatzschale sind dabei im Putz zu übernehmen.

3.5 Eigenschaften

3.5.1 Standsicherheit

Aufgrund der hohen Druckfestigkeit der Kalksandsteine kann die *tragende Innenschale* sehr schlank ausgeführt werden. Die Mindestdicke beträgt nach DIN EN 1996-1-1 + NA 115 mm.

Die *nichttragende Außenschale* hat nur ihre Eigenlast aufzunehmen und muss eine Dicke von mindestens 90 mm aufweisen. Dünnere Außenschichten sind als Bekleidungen definiert und nach DIN 18515 nachzuweisen und auszuführen.

Sind größere Tür- und Fensteröffnungen zu überbrücken oder befinden sich mehrere Öffnungen mit schmalen verbleibenden Pfeilern in der Außenwand, muss die Auflagerpressung unterhalb der Stürze nachgewiesen werden. Aufgrund der horizontalen Verankerung in der Innenschale durch die Luftschichtanker sind beim statischen Nachweis keine Abminderungen wegen Knickgefährdung zu berücksichtigen. Nur bei schmalen Pfeilern zwischen zwei Öffnungen ist ein Nachweis unter Berücksichtigung der Schlankheit h/d (Öffnungshöhe zu Schalendicke) notwendig.

Die Aufnahme der Windsog- bzw. Winddruckkräfte ist durch die vorgegebene Anordnung der Anker ohne weiteren Nachweis gewährleistet.

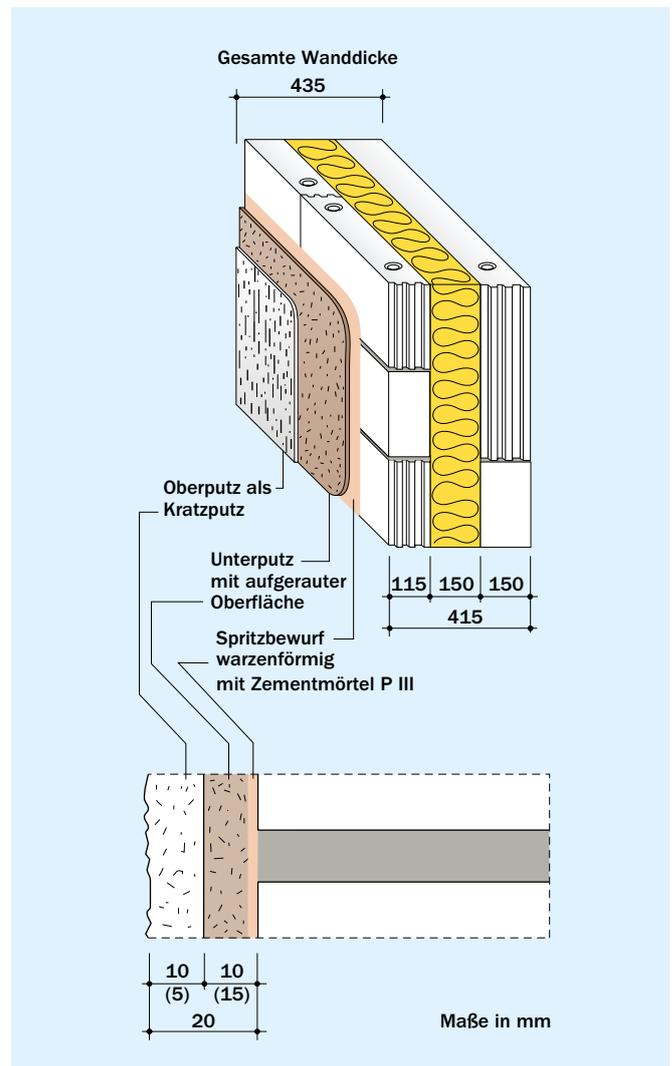


Bild 9 Verputzte Vormauerschale



Tafel 6 Höhenabstand der Abfangung von 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	$\leq 2,5 \text{ cm}$	$\leq \text{ca. } 12,0 \text{ m}$

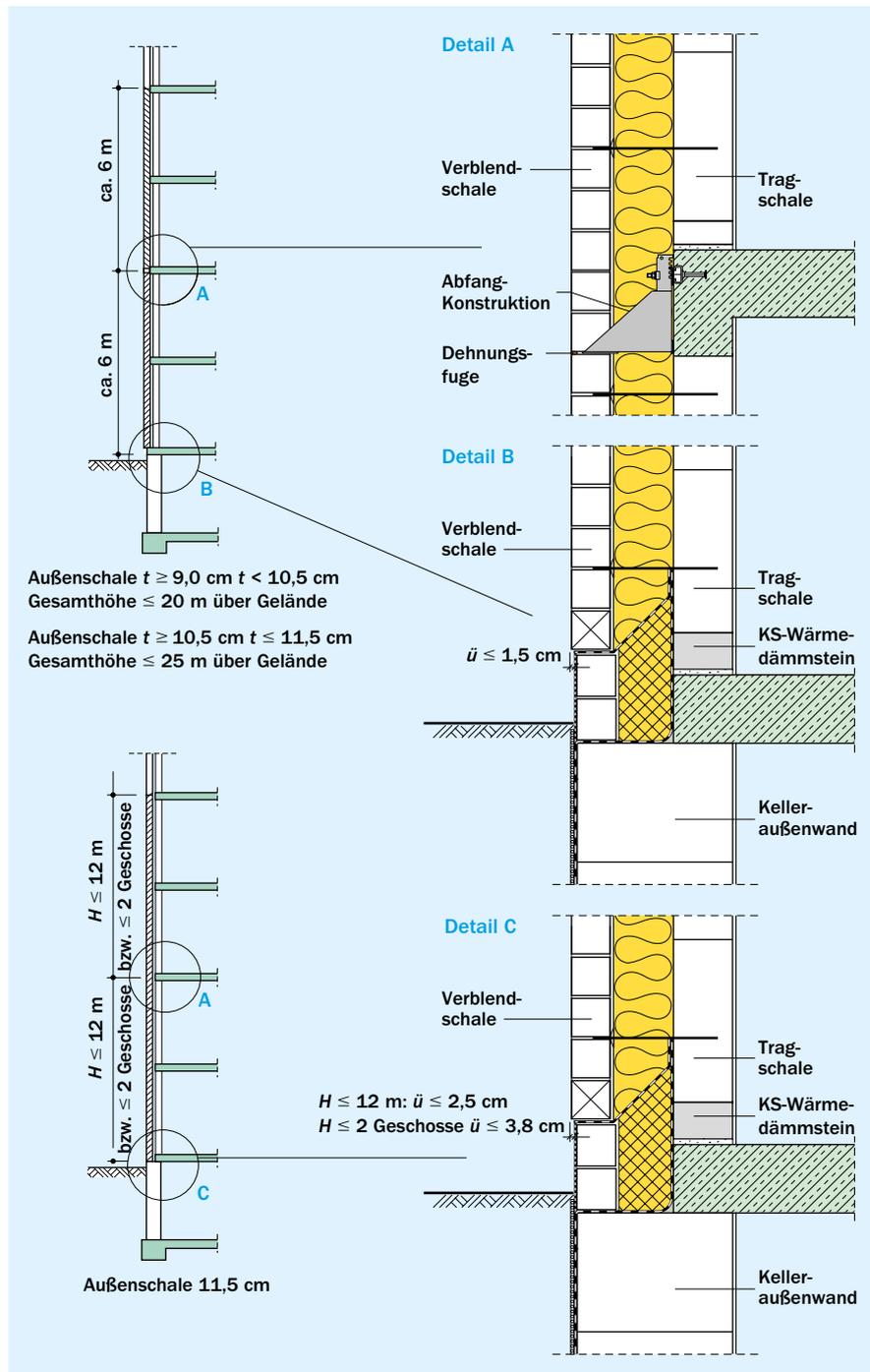


Bild 10 Randbedingungen zur Ausführung von zweischaligen Außenwänden nach DIN EN 1996-2/NA

Zur Begrenzung der Beanspruchungen muss die Höhe der Außenschale begrenzt werden, so dass nach DIN EN 1996-2/NA folgende Abfangungen erforderlich werden (Tafel 6 und Bild 10):

- Außenschalen mit einer Dicke $t = 115 \text{ mm}$
Sollten in Höhenabständen von 12 m abgefangen werden. Sie dürfen bis zu 25 mm über ihr Auflager überstehen. Werden sie alle 2 Geschosse abgefangen oder sind sie nicht höher als 2 Geschosse, dürfen sie bis zu 38 mm über ihr Auflager überstehen.
- Außenschalen einer Dicke von $t \geq 105 \text{ mm}$ bis $t < 115 \text{ mm}$
Dürfen bis zu einer Höhe von maximal 25 m über Gelände geführt werden und sind in Höhenabständen von ca. 6 m abzufangen. Bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen darf ein Giebeldreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Sie dürfen bis zu 15 mm über ihr Auflager überstehen.
- Außenschalen mit einer Dicke von $t \geq 90 \text{ mm}$ bis $t < 105 \text{ mm}$
Dürfen bis zu einer Höhe von maximal 20 m über Gelände geführt werden und sind ebenfalls in Höhenabständen von ca. 6 m abzufangen. Bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen darf auch hier ein Giebeldreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Sie dürfen bis zu 15 mm über ihr Auflager überstehen. Wie oben erwähnt, müssen die Fugen bei Verblendmauerwerk dieser Dicke mit Fugenglattrich ausgeführt werden.

Für die erforderliche Abfangung der Außenschale werden vielfältige Standardkonstruktionen – überwiegend mit typengeprüfter statischer Berechnung – angeboten, die in zunehmendem Maße durch spezialisierte Ingenieurabteilungen bei den Herstellerfirmen objektbezogen bemessen und komplett mit dem erforderlichen Montagezubehör angeliefert werden. Die Verankerung erfolgt vorzugsweise im Bereich der Decken oder von Betonstützen und Querwänden.

Zur Reduzierung der Zwängungsspannungen und damit der Rissgefährdung aus hygrothermischen Einwirkungen wird die Anordnung von horizontalen und vertikalen Dehnungsfugen in der Außenschale erforderlich (siehe Abschnitt 3.6.1).

3.5.2 Brandschutz

Aufgrund der Nichtbrennbarkeit von Kalksandsteinen (Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1) können mit Außenwänden aus zweischaligem KS-Mauerwerk bei Verwendung von ebenfalls nichtbrennbaren Dämmstoffen im Schalenzwischenraum unabhängig von der Gebäudeklasse alle geltenden brandschutztechnischen Anforderungen problemlos eingehalten werden. Ohne geplante Luftschicht im Schalenzwischenraum kann dabei auch auf die Anordnung von horizontalen Brandsperren verzichtet werden.

Bei Verwendung von schwerentflammbaren Dämmstoffen bis zur Gebäudeklasse GK 5 oder von normalentflammbaren Dämmstoffen bis zur Gebäudeklasse GK 3 sind zur Verhinderung einer Brandausbreitung ggf. Einschränkungen (wie die Begrenzung der Dämmstoffdicke) oder zusätzliche konstruktive Anforderungen (wie die Anordnung von horizontalen Brandsperren bei geschossübergreifendem Schalenzwischenraum in den Gebäudeklassen GK 4 und GK 5) zu beachten.

Für die Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer sind die baukonstruktiven Gegebenheiten (primär Dicke und Ausnutzungsfaktor) des KS-Mauerwerks der tragenden Innenschale maßgebend, eine ggf. brandschutztechnisch erforderliche Putzschicht wird gleichwertig durch die Außenschale ersetzt. Fugendichtstoffe oder Fugendichtungsbänder der Baustoffklasse B1 (DIN 4102-1) sowie Dämmstoffe der Baustoffklassen B1 oder B2 (DIN 4102-1) im Schalenzwischenraum haben keinen abmindernden Einfluss auf die Einstufung.

3.5.3 Wärmeschutz

Um besonders hochwärmedämmende Konstruktionen – z.B. für den Passivhausstandard – zu erzielen, wird die Verwen-

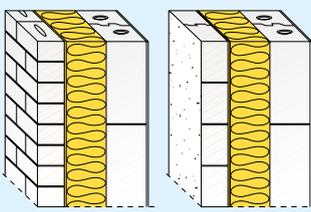
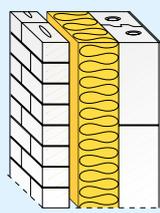
dung von Dämmstoffen mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit (z. B. Phenolharz-Hartschaum oder PUR-Hartschaum) und/oder von zugelassenen Ankern empfohlen, die Dämmstoffdicken bis 200 mm (bzw. bis 250 mm für nichtbrennbare Dämmstoffe) ermöglichen (vgl. Tafel 4 und Tafel 5).

Bei zweischaliger Konstruktion und vollständiger Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Dämmstoff ist der äußere Wärmeübergangswiderstand mit $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ anzusetzen. Bei Ausführung mit Luftschicht ist nach DIN EN ISO 6946 je nach Größe der Lüftungsöffnungen zwischen „schwach belüfteten“ und „stark belüfteten“ Luftschichten zu unterscheiden. Mit den bisher üblichen Größen der Lüftungsöffnungen (d.h. nach DIN 1053-1) ergaben sich meist „stark belüftete“ Luftschichten. In diesen Fällen ist der Wärmedurchlasswiderstand der Außenschale nicht in die Berechnung des U-Werts einzubeziehen. Für den äußeren Wärmeübergangswiderstand darf der gleiche Wert wie für den inneren Wärmeübergangswiderstand (im Allgemeinen $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) angesetzt werden.

Im Hinblick auf den Wärmeschutz stellen Konsolanker für die Abfangung der Außenschale bei Durchdringung der Dämmstoffschicht Wärmebrücken dar, deren Einfluss anhand des punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten χ (chi) in Abhängigkeit von den baukonstruktiven Gegebenheiten konkret zu ermitteln ist. Durch umfassende Wärmebrückenberechnungen am Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen der TU Berlin [14] konnte nachgewiesen werden, dass sich dieser Einfluss durch die Optimierung der Formgebung der Konsolanker deutlich verringern lässt.

Für den sommerlichen Wärmeschutz wirkt die tragende Innenschale als hohe speicherfähige Masse, da sie über die Wärmedämmung vom Außenklima weitgehend abgekoppelt ist. Durch

Tafel 7 U-Werte von zweischaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämmung bzw. mit Wärmedämmung und Luftschicht

	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	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt $R = 0,15 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ 0,115 m ²⁾ KS-Verblendschale $\lambda = 1,1 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ (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 $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 0,175 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 ²⁾ 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 Steinrohdklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

²⁾ 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

instationäre Wärmestromberechnungen sowie praktische Messungen wurde nachgewiesen, dass die gelegentlich geäußerte Vermutung nicht zutrifft, dass bei Konstruktionen mit einer vollständigen Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Dämmstoff ein Wärmestau in der Außenschale entstehen würde. Die Temperaturunterschiede zwischen hinterlüfteten und nicht hinterlüfteten Außenschalen sind sowohl im Sommer wie auch im Winter bei ansonsten gleichen Randbedingungen gering. Vielmehr wird die sommerliche Erwärmung durch die Absorption der Sonnenstrahlung und damit durch die Farbe der Fassade bestimmt. Helle Fassaden – wie sie bei KS-Verblendmauerwerk gegeben sind – wirken sich dabei besonders günstig aus, weil sie ein hohes Rückstrahlvermögen (Albedo) aufweisen.

3.5.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Nach DIN 4108-3 kann auf einen dampfdiffusionstechnischen Nachweis verzichtet werden, da bei zweischaligen Außenwänden aus KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung unabhängig vom Vorhandensein einer Luftschicht eine Gefährdung durch Tauwasser oder Schimmelpilzbildung ausgeschlossen ist. Voraussetzung ist – wie bei allen Außenkonstruktionen – die Vermeidung von kritischen Wärmebrücken.

Im Hinblick auf den Schlagregenschutz können zweischalige Außenwände aus KS-Mauerwerk in der höchsten Beanspruchungsgruppe III nach DIN 4108-3 verwendet werden. Bei einer Außenschale aus KS-Verblendern wird Feuchtigkeit, die durch Schlagregenbeanspruchung in die äußere Zone der Verblendschale eindringt, durch die Kapillarität des Baustoffes verteilt und nach dem Ende der Regenphase durch Diffusionsvorgänge wieder an die Außenluft abgegeben. Zur Erhöhung der Schlagregensicherheit kann ggf. eine dampfdiffusionsoffene hydrophobierende Beschichtung auf die Verblendschale aufgebracht werden, die gleichzeitig einer örtlich vorhandenen Veralgungsgefahr entgegen wirkt – z.B. bei Standorten mit hohem Baumbestand. Bei einer Vorsatzschale aus KS-Mauerwerk mit Außenputz wird der Schlagregenschutz durch das Putzsystem gewährleistet.

Um ggf. eindringende Feuchtigkeit aus der Konstruktion ableiten zu können, dürfen in der KS-Verblendschale oben und unten Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen angeordnet werden. Das gilt auch für Brüstungsbereiche sowie für die Bereiche über Türen oder Fenstern.

3.5.5 Schallschutz

Derzeit ist die nach DIN 4109-2 vorgesehene Berechnung der Schalldämmung zweischaliger Außenwände nach DIN EN 1996/NA nicht möglich, da für die Luftschallverbesserung $\Delta R_{Dd,w}$ von massiven biegesteifen Verblendschalen aus Mauerwerk oder Vorsatzschichten aus Beton mit Luftschicht oder Dämmschicht noch keine abgesicherten Angaben vorliegen. Ersatzweise wird deshalb für zweischalige Außenwände mit Luftschicht für die Ermittlung der Schalldämmung der gesamten Konstruktion in Abschnitt 4.4.4. der DIN 4109-32 folgendes Verfahren vorgeschlagen:

„Bei zweischaligen Konstruktionen mit Luftschicht oder mit Kerndämmung aus mineralischen Faserdämmstoffen darf das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen [...] ermittelt werden. Das so ermittelte bewertete Schalldämm-Maß R_w darf um 5 dB er-

höht werden. Wenn die flächenbezogene Masse der auf die Innenschale der Außenwand anschließenden Trennwände größer als 50 % der flächenbezogenen Masse der inneren Schale der Außenwand beträgt, darf das Schalldämm-Maß R_w um 8 dB erhöht werden.“

Bei Sandwich-Elementen aus Beton oder bei Mauerwerk mit einer Kerndämmung, die unter Verwendung von Hartschaumstoffen hergestellt werden, wird in DIN 4109-32 übergangsweise vorgesehen, dass das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus den flächenbezogenen Massen beider Schalen abzüglich 2 dB ermittelt wird.

3.5.6 Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit von zweischaligen Außenwänden aus KS-Mauerwerk ist im Zusammenhang mit den bekannten Eigenschaften im besonderen Maße gegeben durch

- die Dehnungsfugenausbildung in der Außenschale, mit der Zwangsbeanspruchungen aus hygrothermischer Einwirkung minimiert werden,
- die Verwendung von KS-Verblendern, die die Frostwiderstandsfähigkeit der Verblendschale gewährleisten und
- die robuste Konstruktion mit hohem Widerstand gegenüber jeder Form von mechanischer Beanspruchung wie Stoß und Perforation.

Mit den baustofflichen und baukonstruktiven Eigenschaften ergibt sich für zweischalige KS-Außenwände eine sehr hohe Lebensdauer mit nur geringen Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen.

3.5.7 Gestaltung

Die Außenschale wird überwiegend großflächig erstellt und z.B. durch Fugen, Fenster- und Türöffnungen oder Versätze strukturiert. Durch die Ausführung in Sichtmauerwerk kann die Bauart des (traditionell handwerklichen oder ingenieurmäßigen) Mauerwerksbau visuell transportiert werden, für die gewünschte Gestaltung steht eine Vielzahl von frostwiderstandsfähigen Kalksandsteinen zur Verfügung. Bei einer Ausführung mit Außenputz kann wiederum auf die Möglichkeiten der aktuellen Putzmörteltechnik in ihren vielfältigen Varianten von Farbgebung und Oberflächenstruktur zurückgegriffen werden.

3.6 Details

3.6.1 Dehnungsfugen in der Außenschale Anordnung der Dehnungsfugen

Da die Außenschale den klimabedingten Einwirkungen unmittelbar ausgesetzt ist, wird zur Begrenzung der Zwangsbeanspruchungen auf ein hinsichtlich von Rissbildungen unkritisches Maß eine Unterteilung durch Dehnungsfugen erforderlich. Über die Höhe ist der Abstand der horizontalen Dehnungsfugen durch die Vorgaben der DIN EN 1996-2 + NA zur Abfangung (s.o.) festgelegt.

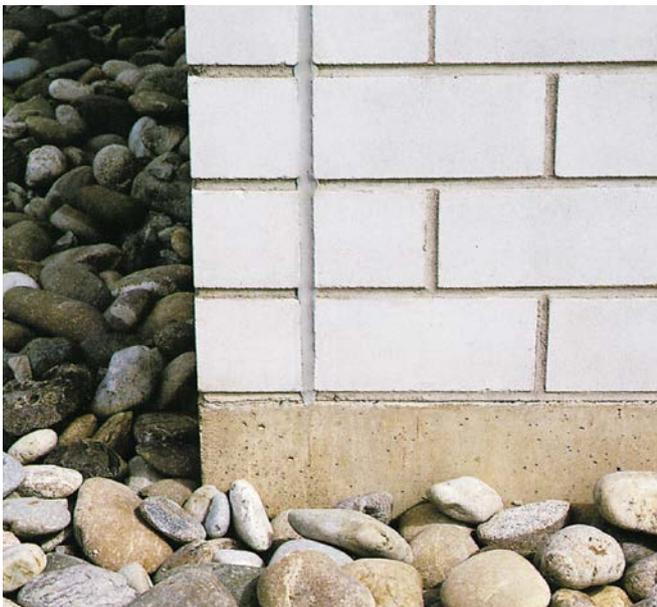


Bild 11 Ausführung einer Dehnungsfuge an einer Gebäudekante mit spritzbarem Fugendichtstoff

Über die Länge ist eine Unterteilung durch vertikale Dehnungsfugen erforderlich

- bei langen Mauerwerksscheiben im Abstand von 6 bis 8 m,
- im Bereich von Gebäudeecken oder -kanten (Bild 11) und
- bei großen Fenster- und Türöffnungen in Verlängerung der senkrechten Laibungen.

Umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung der rissfreien Wandlänge wurden von Schubert ([15] bis [19]) durchgeführt, der Nachweis kann explizit mit diesem Ansatz in Abhängigkeit von den folgenden Parametern geführt werden:

- Zugfestigkeit und Zugelastizitätsmodul des Mauerwerks in Wandlängsrichtung
- Schwindmaß und temperaturbedingte Längenänderung
- Wandhöhe der Außenschale
- Behinderungsgrad am Wandfuß der Außenschale

Für die durch Dehnungsfugen strukturierte Außenschale ist auf ungehinderte Verformungsmöglichkeiten in der ganzen Fläche zu achten. So sind z.B. unterhalb von auskragenden Balkonplatten oder im Anschluss an angrenzende Bauteile oder Durchdringungen ausreichend dimensionierte Fugen anzuordnen. Ebenfalls ist darauf zu achten,

dass die Außenschale unterhalb von Zwischenabfangungen genügend Ausdehnungsmöglichkeiten nach oben hat, um Verformungsbehinderungen durch die Abfangkonsolen zu vermeiden.

Ausführung der Dehnungsfugen

Für die Ausführung von Dehnungsfugen haben sich folgende Varianten bewährt:

- *Offene Vertikalfugen* können bei Verwendung von Dämmplatten des Anwendungstyps WZ nach DIN 4108-10 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ausgeführt werden. Die zulässige Fugenbreite ist auf 15 mm begrenzt.
- *Geschlossene Fugen mit Fugendichtstoff* (Bild 12) sind in Planung und Ausführung durch DIN 18540 geregelt. Als Materialien haben sich ein- und zweikomponentige Systeme aus Polysulfid, Silikon-Kautschuk, Polyurethan oder Acryldispersion bewährt. Soweit erforderlich, sind (systemgebunden) Primer oder Sperrgrund zu verwenden. Der Dichtstoff wird in vielen RAL-Farben angeboten und ist in der Regel nicht überstreichfähig. Die maximale Dehnfähigkeit beträgt bezogen auf die Fugenbreite 25 %, die Fugen sind entsprechend zu dimensionieren. Auf die im Vergleich zum KS-Mauerwerk kürzeren Instandhaltungszyklen von Dichtstoffen ist hinzuweisen.
- *Geschlossene Fugen mit vorkomprimierten und imprägnierten Fugendichtungsbändern* (Bild 13) aus Schaumstoffen sind in DIN 18542 geregelt. Je nach Dichtungsband beträgt die maximale Dehnung zwischen 30 und 50 % bezogen auf die Fugenbreite. In der Anwendung haben sich Fugendichtungsbänder als vergleichsweise dauerhaft und wartungsfreundlich erwiesen, sie können ggf. auch leicht ausgetauscht werden.

Zum optischen Verschluss von Fugen sind auch Abdeckprofile geeignet, die in die Fuge eingeklemmt oder eingeklebt werden. Bei eingeklemmten Abdeckprofilen muss die vorgegebene Pressung ausreichen, um ein Herausfallen des Profils bei Vergrößerung der Fuge oder Kontraktion des Profils zu verhindern – z.B. infolge Temperaturabnahme.

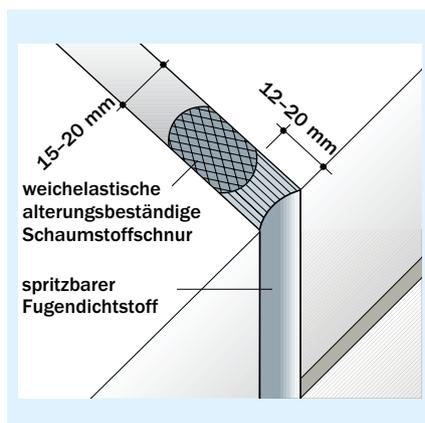


Bild 12 Dehnungsfuge mit spritzbarem Fugendichtstoff

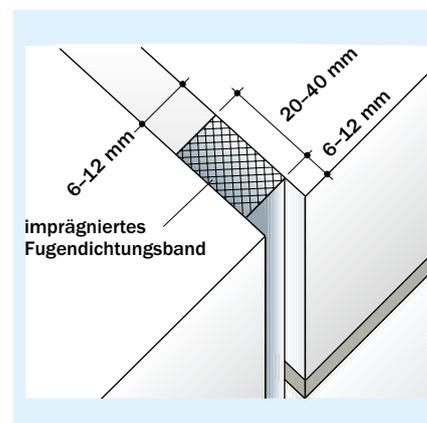


Bild 13 Dehnungsfuge mit imprägniertem Fugendichtungsband aus Schaumstoff

3.6.2 Abfangung der Außenschale

Abfangungen (Bild 14) sollen im Allgemeinen nicht sichtbar sein. Für die Überbrückung von Fenstern oder Türen können Stürze verschiedener Ausführungen passend zum Sichtmauerwerk in die Fassade eingegliedert werden. Das ist auch über weiten Öffnungen möglich. Alternativ zu den häufig verwendeten vorgefertigten KS-Stürzen können z.B. für verdeckte Sturzabfangungen mit Roll- und Grenadierschicht spezielle Rollschichthalter mit Längsbewehrung eingesetzt werden, die mit den Konsolankern verbunden werden.

Bei der Ausführung von zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht und planmäßiger Be- und Entlüftung dürfen die erforderlichen Konsolanker die Luftschicht nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigen.

Für Abfangungen wird eine Vielzahl von Standardkonstruktionen von verschiedenen Herstellern angeboten (Bilder 15 und 16), die Verankerung erfolgt mit zugelassenen Schwerlastdübeln oder Ankerschienen vorzugsweise im Bereich der Decken oder von Betonstützen und Querwänden.

3.6.3 Belüftung und Entwässerung der Außenschale

Auf eine planmäßige Belüftung oder Entwässerung kann nach DIN EN 1996 prinzipiell verzichtet werden. Bei verputzten Vorsatzschalen sind die diesbezüglich notwendigen Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen im Gegenteil sogar schädlich. Bei die-

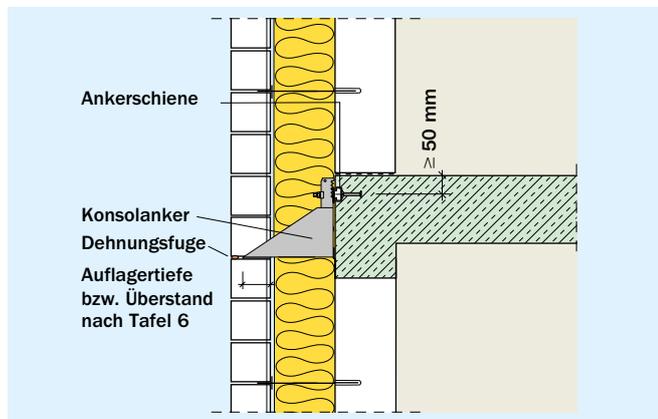


Bild 14 Zwischenabfangung

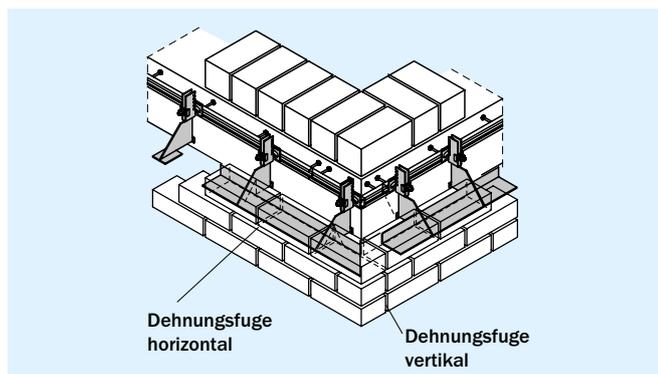


Bild 15 Abfangkonstruktion für Eckbereich mit höhenverstellbaren Konsolankern

Verankerungen für Verblendmauerwerk	Einsatzbereich
<p>Einzelkonsolle</p>	Höhenjustierbare Abfangung von geschlossenen Wandflächen
<p>Winkelkonsolle</p>	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen
<p>Einzelkonsolanker mit Höhenversatz</p>	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen mit Höhenversatz
<p>Auflagerwinkel</p>	Einfache Abfangung über Öffnungen, ohne Verschluss des Schalenraums

Bild 16 Übersicht unterschiedlicher Abfangkonstruktionen

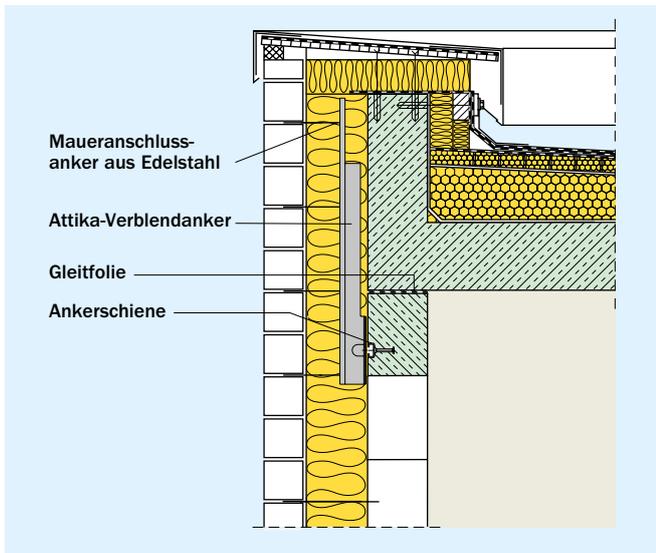


Bild 17 Attikaanschluss

ser Variante dürfen nicht frostwiderstandsfähige Mauersteine verwendet werden, für die jedoch im Bereich der Öffnungen mit einer erhöhten Feuchte- und insofern auch Frostbeanspruchung zu rechnen wäre.

In KS-Verblendschalen dürfen oben und unten Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen angeordnet werden. Die konkrete Lage und die Fläche dieser Öffnungen werden nicht in DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-2 oder den Nationalen Anhängen geregelt, jedoch kann DIN 1053-1 entsprechende Hinweise geben. Die Ausführung erfolgt entweder in Form von offenen (un-

vermörtelten) Stoßfugen oder mit Kunststoff-Formteilen. Falls entsprechende Öffnungen vorgesehen werden, ist in der Praxis festzustellen, dass bei sachgerechter Planung und Ausführung keine Ablaufspuren auftreten. Bei einer lose eingebrachten Dämmung (Schüttung) kann durch nicht rostende Lochgitter zudem sichergestellt werden, dass der Dämmstoff nicht ausrieseln kann.

3.6.4 Fußpunktausbildung der KS-Verblendschale

Der Fußpunkt von zweischaligem Mauerwerk ist sorgfältig zu planen und auszuführen. Dabei sollten die folgenden Hinweise und Empfehlungen beachtet werden (Bild 18):

Sockel

Grundsätzlich ist die Ausbildung eines Sockels mit wasserabweisendem Sockelputz oder Dichtungsschlämme zu empfehlen. Der Sockelbereich ist einer erhöhten Spritzwasserbeanspruchung ausgesetzt und mindestens 10 cm über Gelände zu führen. Bei entsprechender Einfärbung (Pigmentierung) des Putzes bzw. der Dichtungsschlämme sind Eindunklungen weniger störend, die sich aufgrund der erhöhten Feuchtebeanspruchung ergeben.

Um die Höhe des Spritzwasserbereichs weitestgehend auf den Sockel beschränken zu können, ist es sinnvoll, einen Kiesstreifen (ca. 50 cm breit und 20 cm tief) vor dem Verblendmauerwerk anzuordnen. In diesen Fällen kann unter Umständen auf einen Sockelputz verzichtet werden (siehe Bild 18 links). Wenn harte Beläge, Erdreich oder Rasen direkt an den Sockelbereich anschließen, ist in jedem Fall die Anordnung eines wasserabweisenden Sockelputzes oder einer Dichtungsschlämme vorzusehen.

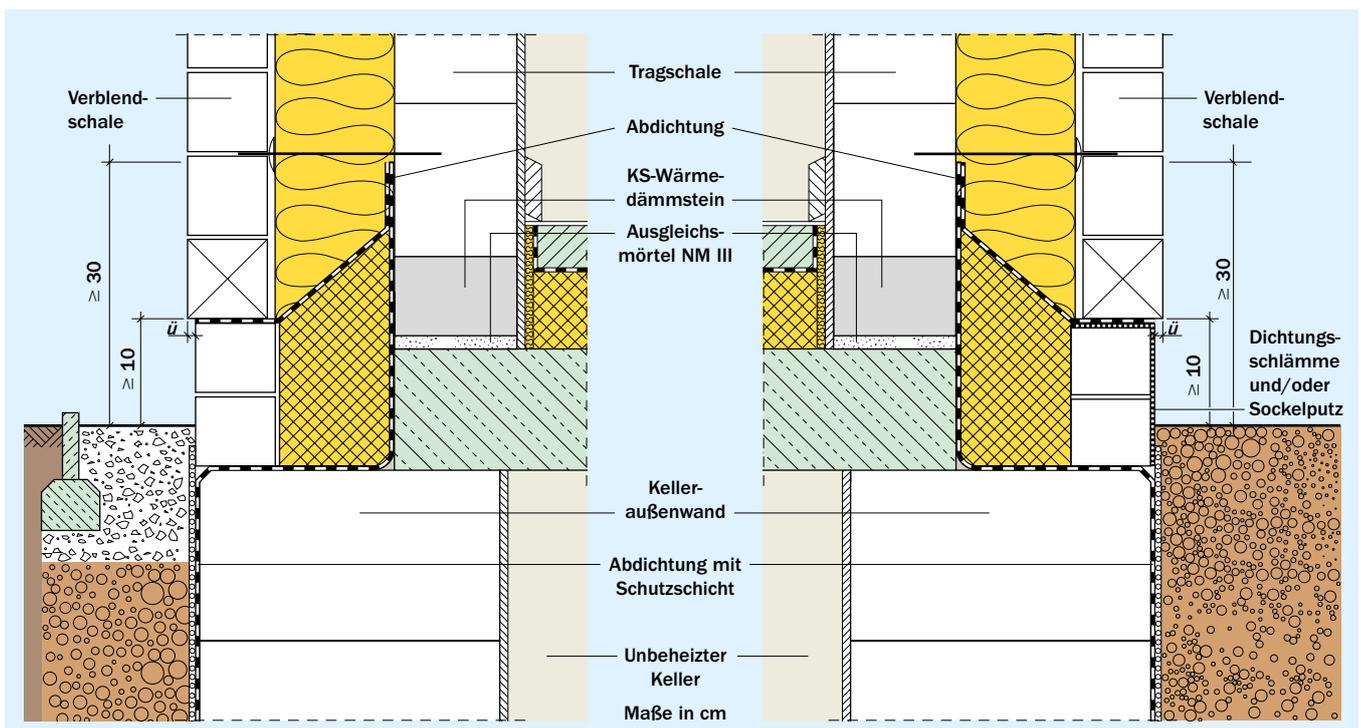


Bild 18 Beispiel für Fußpunktausbildung

Ein Herabführen der Verblendschale bis unter Gelände ist zwar möglich, da aber mit deutlich erhöhter Feuchte- sowie Frostbeanspruchung und auch erhöhter Verschmutzung zu rechnen ist, wird eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung notwendig.

Unbedingt zu vermeiden ist der Kontakt des Mauerwerks mit Tausalzen, da hier die Struktur geschädigt wird.

Wärmedämmung

Zur wirksamen Reduzierung von Wärmebrücken wird in DIN 4108, Beiblatt 2 empfohlen, die Wärmedämmung von der Oberkante der Kellerdecke 30 cm (z.B. 18 cm Decke + eine Mauerwerksschicht mit ca. 12,5 cm Höhe) nach unten zu führen. Alternativ zum Herabführen der Wärmedämmung kann oberhalb der Stahlbetondecke ein optimierter KS-Wärmedämmstein mit $\lambda \leq 0,33 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ eingesetzt werden, der bis zur Steinfestigkeitsklasse SFK 20 angeboten wird. Die Wärmedämmung ist in jedem Fall bis zur Deckenunterkante, also bis auf die Kelleraußenwand herabzuführen.

Unterhalb der geeigneten Abdichtungsfolie ist im Schalenzwischenraum eine abgeschrägte Hartschaumplatte einzustellen, die als Rücklage für die Abdichtungsfolie dient.

Bei beheizten Kellern ist eine außen liegende Perimeterdämmung so weit wie möglich hochzuführen, zu befestigen (z.B. durch flächige Verklebung) und vor Beschädigungen zu schützen. Es empfiehlt sich, die Perimeter-Dämmplatten am oberen Ende abzuschrägen und ca. 5 bis 10 cm unter Gelände enden zu lassen. Ein Überlappungsbereich von außen liegender Perimeterdämmung und Wärmedämmung im Schalenraum von ca. 10 cm ist zu empfehlen.

Abdichtung

Die Abdichtungsfolie ist im Schalenraum mit Gefälle nach außen zu verlegen, an der Innenschale hoch zu führen und zu befestigen. Die Befestigung (ca. 30 cm über Gelände) erfolgt in der Regel durch Ankleben z.B. mit Montagekleber oder durch punktuellen Andübeln von Klemmleistenstücken. Dies ist völlig ausreichend, da die Abdichtungsfolie nach der Montage der Dämmstoffplatten in der Lage fixiert ist. Ein Einbinden der Abdichtungsfolie in die Lagerfugen der Innenschale ist nicht erforderlich und bei z.B. großformatigem Planstein-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel baupraktisch nicht durchführbar. Zudem würde der Verbund des tragenden Mauerwerks durch die Abdichtungsfolie gestört werden.

Die Abdichtung an der Außenseite der Tragschale und entlang der Aufstandsfläche der Vormauerschale ist so auszubilden, dass ein Abrutschen des KS-Mauerwerks sicher auszuschließen ist. Die erste Ankerlage ist so tief wie möglich anzuordnen. Als Abdichtung dürfen nach

DIN 18533 [20] (in Verbindung mit DIN (SPEC) 20000-202) folgende Bahnen eingesetzt werden:

- Bitumen-Dachbahnen mit Rohfilzeinlage (R 500) nach DIN EN 14967
- Bitumen-Dachdichtungsbahnen (G200DD/PV200DD) nach DIN EN 14967
- Kunststoff- und Elastomerbahnen nach DIN EN 14909:
 - ECB-Bahnen (bitumenverträglich)
 - PIB-Bahnen (bitumenverträglich)
 - PVC-P-Bahnen (nicht bitumenverträglich)
 - PVC-P-Bahnen (bitumenverträglich)
 - EVA-Bahnen (bitumenverträglich)
 - EPDM-Bahnen (bitumenverträglich)
 - FPO-Bahnen (bitumenverträglich)
- PMBC (kunststoffmodifizierte Dickbeschichtungen)

Die Abdichtungsfolie ist ohne Verklebung bis zur Vorderkante der Verblendschale zu führen. Dies wird in der Praxis meist nicht ausgeführt, da die schwarzen Abdichtungsfolien optisch störend sind. Bewährt hat es sich, die Abdichtungsfolie auf eine rissüberbrückende mineralische Dichtungsschlämme (mit allgemeinem bauaufsichtlichen Prüfzeugnis – abP) aufzulegen

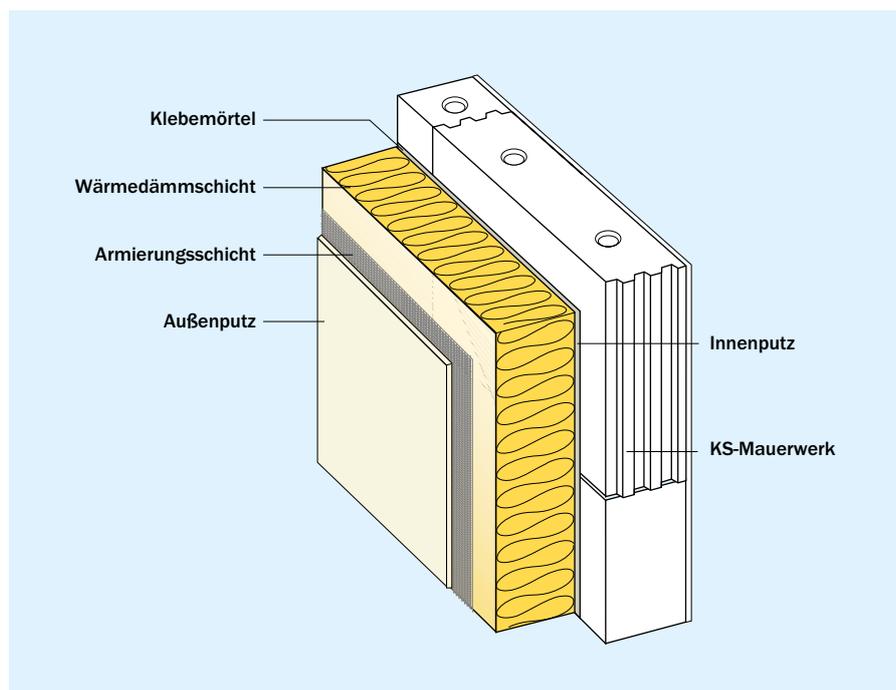


Bild 19 Wandaufbau KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem

und ca. 2 cm vor der Vorderkante der Verblendschale enden zu lassen. Mit der mineralischen Dichtungsschlämme (MDS), die über die komplette Dicke der Verblendschale gezogen wird, wird die Abdichtung des Schalenraums mit der Vertikalabdichtung (nach DIN 18533) verbunden. Dabei ist ein Überlappungsbereich von ca. 10 cm einzuhalten [21]. Zur Haftverbesserung (z.B. im Übergang zu einer kunststoffmodifizierten Dickbeschichtung (PMBC) oder eines Sockelputzes) ist das Abstreuen der Dichtungsschlämme im noch frischen Zustand mit Sand zu empfehlen.

Entwässerung

Auf eine planmäßige Entwässerung kann verzichtet werden und wird in der Regel auch verzichtet. Falls dennoch Entwässerungsöffnungen vorgesehen werden, sollten die folgenden Hinweise berücksichtigt werden:

- Die Entwässerungsöffnungen sind oberhalb der Abdichtung des Schalenraums in der untersten Verblender-Schicht anzuordnen.
- Sofern bei Konstruktionen mit Luftschicht die Entwässerungsöffnungen am Fußpunkt gleichzeitig als Lüftungsöffnungen dienen, sind sie mindestens 10 cm über Gelände anzuordnen.
- Nach DIN 18533 ist die Entwässerung unterhalb Gelände möglich, wenn sie in eine versickerungsfähige Verfüllung erfolgt und die Stöße der Bahnen verklebt sind. Mit einer höheren Durchfeuchtung der unteren Schichten des Verblendmauerwerks ist dabei zu rechnen. Erhöhte Frostbeanspruchung sowie optische Beeinträchtigungen können die Folge sein.

4. Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem

4.1 Konstruktionsprinzip

Die derzeit marktüblichen Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) werden – neben den verwendeten Baustoffen – in der Regel nach dem System der Verankerung unterschieden (Bild 20):

- Ausschließlich teil- bis vollflächig verklebte WDVS (Bild 21)
- Mit Dübeln befestigte und zusätzlich verklebte WDVS (Bild 22)
- Über Schienen befestigte und zusätzlich verklebte WDVS (mit Schienenbefestigung)

Aufgrund der hohen Druckfestigkeit des KS-Mauerwerks können die tragenden Außenwände sehr schlank ausgeführt werden, so dass sich ein deutlicher Nutzflächengewinn ergibt. Bei hoher Rohdichte sind gleichzeitig der Schallschutz sowie der sommerliche Wärmeschutz gewährleistet.

Sofern das Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung ausgeführt wird, dient der Innenputz der Luftdichtheit.

Durch die Wärmedämmung kann ein hoher Wärmeschutz bis hin zum Passivhausstandard realisiert werden.

Der Schutz vor direkten Witterungseinwirkungen erfolgt durch den Außenputz oder durch eine angemörtelte Bekleidung (z.B. keramische Fliesen oder Naturwerksteinplatten).

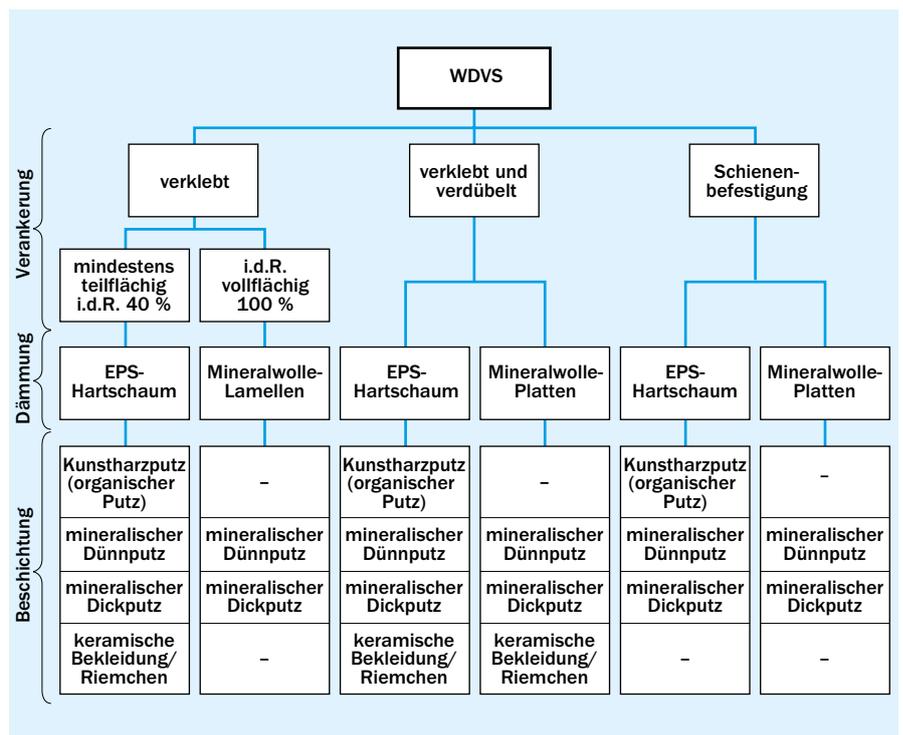


Bild 20 Übersicht der marktüblichen Wärmedämm-Verbundsysteme

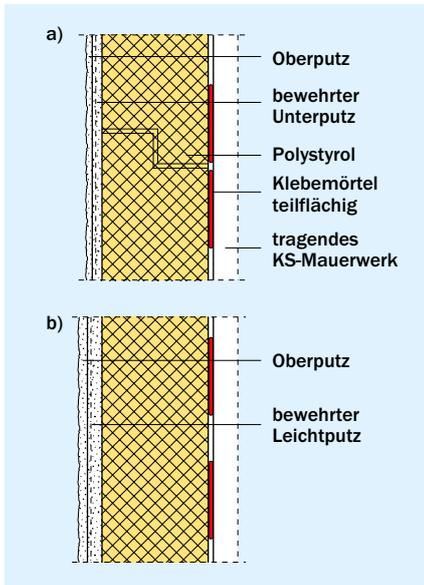


Bild 21 Teilflächig verklebtes WDVS mit EPS-Dämmplatten

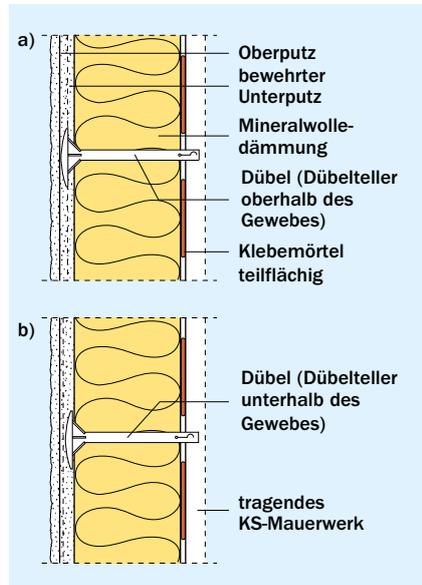


Bild 22 Teilflächig verklebtes und verdübeltes WDVS mit Mineralwolle-Dämmplatten

4.2 Entwicklung

Bereits in den 50er Jahren wurden erste Wärmedämm-Verbundsysteme entwickelt [22]. Seit mehr als 50 Jahren wird die Weiterentwicklung derartiger Systeme auf der Basis von expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) in großem Umfang eingesetzt. Seit Mitte der 70er Jahre kommen WDVS mit Dämmplatten aus Mineralwolle und mineralischen Dickputzsystemen zur Anwendung.

Aktuell werden jährlich mehr als 40 Mio. Quadratmeter WDVS ausgeführt [23] und im Wohnungs- und Verwaltungsbau bis in den Hochhausbereich sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung und Modernisierung eingesetzt.

Untersuchungen zum Langzeitverhalten [24] von ausgeführten WDVS im Alter zwischen 29 und 45 Jahren zeigten im Vergleich zu Außenwänden mit Putz nach DIN 18550

- eine geringere Schadenshäufigkeit,
- einen vergleichbaren Wartungsaufwand und
- eine entsprechend hohe Dauerhaftigkeit.

4.3 Baurechtliche Regelung

Wärmedämm-Verbundsysteme werden nach der Bauproduktenverordnung (BauPVO) [25] aktuell als „Bausätze aus zusammengeführten Komponenten“ und damit – auch im Sinne der Musterbauordnung (MBO) – als „Bauprodukte“ definiert. Kennzeichnend für die baurechtliche Regelung ist die Unterscheidung zwischen Wärmedämm-Verbundsystemen mit europäischer technischer Bewertung (ETA – European Technical Assessment) nach europäischen Bewertungsdokumenten (EAD – European Assessment Document) und Wärmedämm-Verbundsystemen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ).

■ WDVS mit ETA

Mit den Bewertungsdokumenten (EAD, formuliert bis 2013 als Leitlinien – ETAG) werden relevante Eigenschaften und die diesbezüglichen Nachweisverfahren für Bauprodukte in Bezug zum Verwendungszweck benannt. Welche Eigenschaften konkret erreicht werden, geht aus der Europäischen Technischen Bewertung (ETA, formuliert bis 2013 als europäische technische Zulassung – ebenfalls ETA) des Bauprodukts hervor. Für „Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht“ existiert als Grundlage des Bewertungsverfahrens die ETAG 004 [26]. Mit der europäischen technischen Bewertung ist zunächst nur das Inverkehrbringen und Handeln geregelt. Für die Verwendung von WDVS mit ETA und Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol oder Mineralwolle in Deutschland ist der Anhang 11 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)

zu beachten, der die notwendigen Regelungen mit umfassenden Vorgaben zur Standsicherheit, zum Brandschutz und zur Gebrauchstauglichkeit sowie ergänzenden Hinweisen zum Schall- und Wärmeschutz enthält.

■ WDVS mit abZ

Für WDVS mit wesentlichen Abweichungen von der ETAG 004 erfolgt der Nachweis der Verwendbarkeit durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Eine wesentliche Abweichung ist in diesem Zusammenhang z.B. der Einsatz von Dämmstoffen, die nicht den harmonisierten Dämmstoffnormen entsprechen. Im Rahmen der Novellierung der Rechtsvorschriften erfolgt aktuell eine formale Neuorientierung unter der genannten Definition von WDVS als „Bausatz aus zusammengeführten Komponenten“ (und damit als „Bauprodukt“ und nicht mehr als „Bauart“). Zentrale Anforderungen an das WDVS (wie z.B. zur Dauerhaftigkeit) sind dabei auch im deutschen Zulassungsverfahren durch die ETAG 004 geprägt.

Es ist anzumerken, dass der durch das Urteil des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) vom 16.10.2014 in der Rechtssache C-100/13 zum freien Warenverkehr für Bauprodukte initiierte Anpassungsprozess derzeit noch nicht gänzlich abgeschlossen ist. Insofern können die Konsequenzen im Rahmen dieses Beitrags noch nicht im vollen Umfang dargestellt werden. Perspektivisch möglich ist z.B. die Einführung von allgemeinen Bauartgenehmigungen anstelle von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für WDVS als „Bauart aus zusammengeführten Bauprodukten“.

In Ergänzung zur bauaufsichtlichen Regelung sind zudem die folgenden Normen, die nicht Teil der eingeführten technischen Baubestimmungen sind, zu nennen:

- Mit DIN 18345 als Teil der VOB – Teil C werden vertragliche Grundlagen zur Ausführung sowie zur Leistungsbeschreibung geregelt.



Bild 23 Mehrfamilienhaus aus KS-Mauerwerk mit WDVS aus dem Jahr 1968

- DIN EN ISO 9229 beinhaltet weder Anforderungen noch Bemessungsgrundlagen, sondern dient vielmehr der Begriffsbestimmung und ist für baupraktische Belange ohne größere Bedeutung.
- DIN 55699 beinhaltet Verarbeitungsvorgaben als Grundlage der europäischen und nationalen Bewertungs- und Zulassungsbestimmungen.
- Mit DIN EN 13499 und DIN EN 13500 werden ebenfalls nur allgemeine Anforderungen mit Bezug zu den Bewertungs- und Zulassungsregelungen formuliert.

Da die Eigenschaften von WDVS wesentlich durch die Abstimmung der Komponenten – wie z.B. in der Kombination von Dämmung und Unterputz oder Unterputz und Gewebeeinlage – definiert werden, dürfen nur systemkonforme Komponenten verwendet werden. Der Austausch einzelner Komponenten außerhalb der eindeutig formulierten Zulassungsbestimmungen ist unzulässig, die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind in diesem Sinne als „geschlossene System-Zulassungen“ zu verstehen. Im Hinblick auf die Detailgestaltung wird durch die Systemanbieter In Ergänzung zu Zulassungsbestimmungen eine Vielzahl bewährter Konstruktionsdetails in Form von Verarbeitungsrichtlinien, technischen Merkblättern etc. herausgegeben.

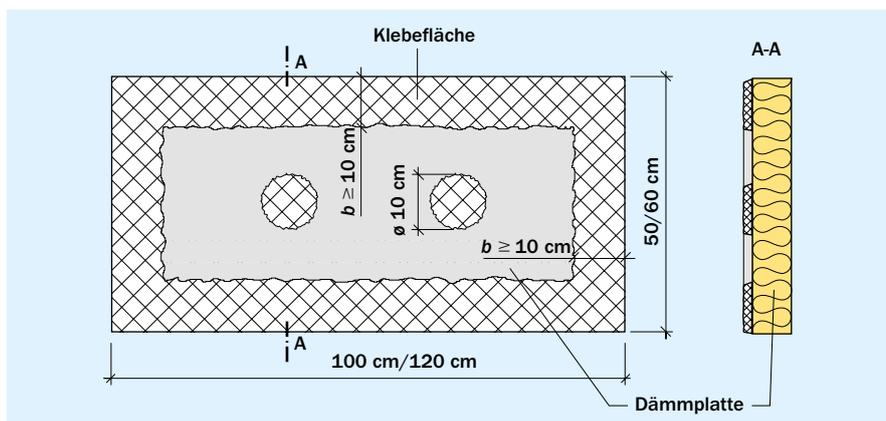


Bild 24 Teilflächige Verklebung nach der Wulst-Punkt-Methode

4.4 Komponenten

4.4.1 Tragender Untergrund

Der Untergrund für Wärmedämm-Verbundsysteme muss tragfähig (standsticher), trocken, staub- und fettfrei sowie ausreichend eben sein.

Wände aus KS-Mauerwerk gelten ohne weiteren Nachweis auch für ausschließlich verklebte WDVS als ausreichend tragfähig. Beim Bauen im Bestand ist bei der Verwendung von ausschließlich verklebten Systemen durch stichprobenartige Haftzugversuche nachzuweisen, dass die Wandoberfläche eine Abreißfestigkeit von mindestens $0,08 \text{ N/mm}^2$ ($= 80 \text{ kN/m}^2 = 80 \text{ kPa}$) aufweist.

An die erforderliche Ebenheit e des Untergrundes sind – als Stichmaß bezogen auf eine Messlänge von 1 m – folgende Anforderungen zu stellen:

- Verklebte Systeme: $e \leq 10 \text{ mm}$
- Verdübelte und verklebte Systeme: $e \leq 20 \text{ mm}$
- Systeme mit Schienenbefestigung: $e \leq 30 \text{ mm}$

Bei fachgerecht ausgeführtem KS-Mauerwerk werden stets die höchsten Anforderungen an die Ebenheit – nämlich die für die Verwendung von ausschließlich verklebten WDVS – problemlos eingehalten.

4.4.2 Verankerung

Ausschließlich verklebte WDVS mit EPS-Dämmplatten werden teil- oder vollflächig verklebt. Bei der teilflächigen Verklebung erfolgt der Kleberauftrag entweder mit einem Flächenanteil von ca. 40 % nach der Wulst-Punkt-Methode (Bild 24) auf der Dämmplattenrückseite oder mit einem Flächenanteil von ca. 60 % durch ein maschinelles, mäanderförmiges Aufspritzen des Klebemörtels (Bild 25) auf den tragenden Untergrund. Bei ebenen

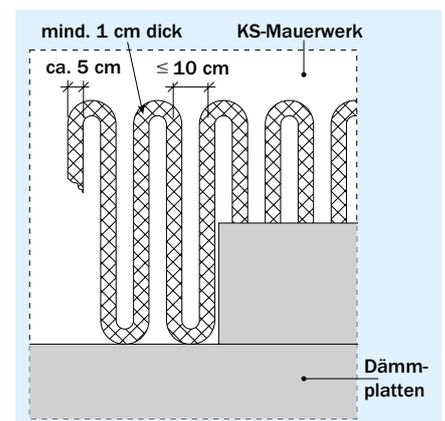


Bild 25 Teilflächiger maschineller Kleberauftrag

Untergründen ist häufig auch eine vollflächige Verklebung im Kambett zulässig, jedoch zeigen Erfahrungen, dass die Wulst-Punkt-Methode oder der mäanderförmige Auftrag hinsichtlich der erforderlichen Klebefläche eine höhere Ausführungssicherheit aufweisen.

Ausschließlich verklebte WDVS mit Mineralwolle-Lamellen werden in der Regel vollflächig verklebt. Dabei ist der Klebemörtel ausreichend in die Dämmplattenrückseite „einzumassieren“, um einen hinreichenden Verbund zum hydrophobierten Dämmstoff zu erzielen. Zunehmend werden vorbeschichtete Lamellen angeboten, die auch für eine teilflächige Verklebung – z.B. mit maschinell, mäanderförmigem Klebemörtelauftrag auf den tragenden Untergrund mit einem Flächenanteil von mindestens 50 % – zugelassen werden. Bei höherer Windsogbeanspruchung wird nach den jeweiligen Zulassungsbestimmungen eine zusätzliche Verdübelung erforderlich (z.B. im Gebäuderandbereich mit Windsoglasten von in den Zulassungen „alter“ Norm definierten $-1,6 \text{ kN/m}^2$ bis $-2,2 \text{ kN/m}^2$).

Bei verdübelten und verklebten WDVS richtet sich die Anzahl der erforderlichen Dübel u.a. nach der Güte des tragenden Untergrundes. Hier erweist sich KS-Mauerwerk als besonders tragfähiger Untergrund. Im Hinblick auf die Windsogbeanspruchung ist darüber hinaus der Dübelkopfdurchzug durch den Dämmstoff bemessungsrelevant. Maßgebend sind neben der Art und der Dicke des Dämmstoffes der Durchmesser und insbesondere die Lage des Dübeltellers. Umschließt der Dübelteller das Bewehrungsgewebe des Putzes, wird ein höherer Durchzugwiderstand erzielt als bei Anordnung des Dübeltellers unterhalb des Gewebes direkt auf der Dämmstoffoberfläche. Hieraus ergibt sich für den Nachweis der Standsicherheit die WDVS-Versagenslast nach europäischer technischer Bewertung sowie der abgeleitete Bemessungswert des WDVS-Widerstandes oder die WDVS-Lastklasse nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

Nur bei tragenden Untergründen mit größeren Unebenheiten werden *WDVS mit Schienenbefestigung* verwendet, für Polystyrol-Dämmplatten mit Schienen aus PVC und für Mineralwolle-Dämmplatten mit Schienen aus Aluminium. Die Dämmplatten werden zusätzlich punktuell verklebt.

Im Vergleich zu rein verklebten Systemen ist die Verarbeitung von zusätzlich verdübelten Systemen arbeits- und damit lohnkostenintensiver. Aufgrund der hohen Tragfähigkeit und Ebenheit von KS-Mauerwerk wird weder eine zusätzliche Verdübelung noch die Ausführung von Schienensystemen erforderlich. Es können somit rein verklebte WDVS mit EPS-Dämmplatten oder Mineralwolle-Lamellen empfohlen werden.

4.4.3 Wärmedämmung

Für Wärmedämm-Verbundsysteme werden weit überwiegend

- EPS-Dämmplatten,
- Mineralwolle-Dämmplatten oder
- Mineralwolle-Lamellen

nach den harmonisierten Dämmstoffnormen (DIN EN 13163 [27] für expandiertes Polystyrol und DIN EN 13162 [28] für Mi-

neralwolle) oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung verwendet. Durch die Zulassung kann u.a. eine höhere Querkzugfestigkeit oder eine geringere Wärmeleitfähigkeit als nach Norm nachgewiesen werden.

■ EPS-Dämmplatten

Bei verklebten sowie verdübelten und verklebten WDVS werden derzeit Dämmplatten aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) bis zu einer maximalen Dicke von 400 mm verwendet. Die Querkzugfestigkeit muss mindestens 80 kPa betragen oder bei nach MVV TB eingeschränkter Anwendung alternativ der Stufe TR 100 nach DIN EN 13163 entsprechen. Bei Systemen mit Schienenbefestigung werden Dämmplatten bis zu einer maximalen Dicke von 200 mm verwendet, die eine Querkzugfestigkeit von mindestens 150 kPa aufweisen müssen (alternativ: Stufe TR 150 mit eingeschränkter Anwendung).

Eine Variante sind Dämmplatten aus expandiertem und zusätzlich elastifiziertem Polystyrol-Partikelschaum, die bei WDVS gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ggf. alternativ eingesetzt werden dürfen. Elastifizierte EPS-Dämmplatten weisen eine geringere Steifigkeit auf, so dass sich eine Verbesserung der schallschutztechnischen Eigenschaften ergeben kann. Im Vergleich zu nicht elastifizierten EPS-Dämmplatten ist jedoch gleichzeitig auch die Querkzugfestigkeit reduziert.

Eine Weiterentwicklung hinsichtlich des Wärmeschutzes sind die seit geraumer Zeit erhältlichen (grauen) Dämmplatten, die durch den Zusatz von Graphit- oder Aluminiumpartikeln eine geringere Wärmestrahlungsübertragung im Zwickelbereich der Polystyrolkügelchen aufweisen. Dadurch wird der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit auf bis zu $0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ verringert. Ohne diesen Zusatz erreichen (weiße) Dämmplatten einen Bemessungswert von $0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

■ Mineralwolle-Dämmplatten

Bei verdübelten und verklebten WDVS ist derzeit die Verwendung von Dämmplatten aus Mineralwolle mit liegender Faser bis zu einer maximalen Dicke von 340 mm zugelassen. Die Querkzugfestigkeit muss mindestens 14 kPa ($d \leq 340 \text{ mm}$) bzw. 5 kPa ($d \leq 200 \text{ mm}$) betragen oder bei nach MVV TB eingeschränkter Anwendung alternativ der Stufe TR 20 bzw. TR 5 nach DIN EN 13162 entsprechen. Bei Systemen mit Schienenbefestigung werden Dämmplatten bis zu einer maximalen Dicke von 200 mm verwendet, die Querkzugfestigkeit muss hier mindestens 14 kPa betragen (alternativ: Stufe TR 20 mit eingeschränkter Anwendung). Angeboten werden Dämmplatten mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit bis zu $0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

■ Mineralwolle-Lamellen

Bei verklebten WDVS werden derzeit Mineralwolle-Lamellen mit stehender Faser bis zu einer maximalen Dicke von 400 mm verwendet. Die Querkzugfestigkeit muss mindestens 80 kPa betragen oder bei nach MVV TB eingeschränkter Anwendung alternativ der Stufe TR 100 nach DIN EN 13162 entsprechen. Bei verdübelten und verklebten WDVS werden Lamellen bis zu einer maximalen Dicke von 200 mm verwendet, die eine Querkzugfestigkeit von mindestens 80 kPa aufweisen müssen (alternativ: Stufe TR 80 bei eingeschränkter Anwendung). Aktuell erreichen die Lamellen einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Die geforderten Werte der Querkzugfestigkeit der Dämmstoffe sind nach den deutschen Zulassungsbestimmungen für WDVS als Mindestanforderung an jeden Einzelwert einer Prüferie definiert und ergänzen die Regelungen der harmonisierten europäischen Dämmstoffnormen, da in diesen mit der TR-Klassifizierung die Angabe nur von Mittelwerten festgelegt ist. Gemäß dem oben genannten EuGH-Urteil ist eine derartige nationale „Nachregelung“ der Normung (hier als Forderung an den Kleinstwert anstelle des Mittelwerts) als unzulässig zu werten. Um das bisherige Sicherheitsniveau von WDVS beizubehalten, muss eine Anpassung der für den Verwendbarkeitsnachweis erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte erfolgen. Bei Ansatz nur der Mittelwerte (d.h. ohne Kenntnis der statistischen Größen zur Streuung der Bauprodukteigenschaften) wird eine Erhöhung der Teilsicherheitsbeiwerte gegenüber dem bislang angewandten Verfahren der Kleinstwertbetrachtung unumgänglich. Diese Anpassung korrespondiert mit der aktuell durch die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen vorgegebenen signifikanten Einschränkung der Anwendung von WDVS mit ETA und Dämmstoffen nach TR-Klassifizierung, z.B. hinsichtlich der Reduzierung der „zulässigen“ Windlasten für verklebte WDVS.

Weitere allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen liegen aktuell z.B. für WDVS mit Dämmplatten aus Mineralschaum, Phenolharz oder Polyurethan vor:

- Mineralische Dämmplatten mit einer maximalen Dicke von 300 mm bestehen aus einer hochaufgeschäumten Calciumsilikatmischung und sind durchgehend hydrophobiert. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit beträgt bis zu $0,042 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Die Befestigung erfolgt durch Verdübelung und Verklebung.
- Mit Phenolharz-Dämmplatten in einer maximalen Dicke von 200 mm kann der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit auf bis zu $0,021 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ reduziert werden. Die Befestigung erfolgt ebenfalls durch Verdübelung und Verklebung.
- Polyurethan-Dämmplatten mit einer maximalen Dicke von 300 mm erreichen einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,024 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Die Befestigung erfolgt durch Verklebung oder durch Verdübelung und Verklebung.

Anders als bei den seit langer Zeit gebräuchlichen Dämmstoffen liegen für WDVS mit diesen Dämmplatten und auch für WDVS mit Mineralwolle-Dämmplatten bzw. Mineralwolle-Lamellen mit einer Dicke von mehr als 200 mm derzeit nur wenige praktische Langzeiterfahrungen vor.

Deshalb wird durch das DIBt für eine notwendige Zulassungsverlängerung ggf. eine Zusammenstellung der jeweils ausgeführten Objekte vom Systemanbieter angefordert. Eine entsprechende Regelung ist zum Teil explizit in den Zulassungsbestimmungen für diese WDVS enthalten. Darüber hinaus ist zu beachten, dass gerade bei vergleichsweise neuen Dämmstoffen zum Teil besondere Anforderungen an die abgestimmte Materialwahl der systemzugehörigen Kleber und Putzsysteme gestellt werden (z.B. bei Mineralschaum-Dämmplatten aufgrund ihrer hohen Steifigkeit oder bei Phenolharz- und Polyurethan-Dämmplatten zur Vermeidung irreversibler feuchtebedingter Verformungen).

Unabhängig vom verwendeten Dämmstoff sind die Dämmplatten dicht gestoßen im Verband zu verlegen (Bild 26). Dies gilt auch für Bauwerkskanten, an denen eine verzahnte Verlegung auszuführen ist. Stoßfugen im Bereich der Ecken von Wandöffnungen sind unzulässig (Bild 27). In Ausnahmefällen nicht dicht gestoßene Fugen sind nachträglich vollständig und materialgleich zu verfüllen.

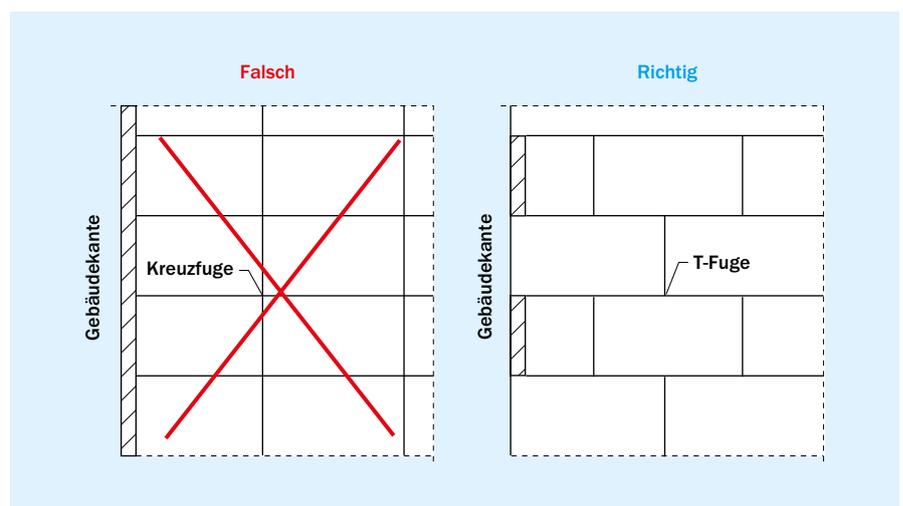


Bild 26 Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Verband bzw. mit Verzahnung

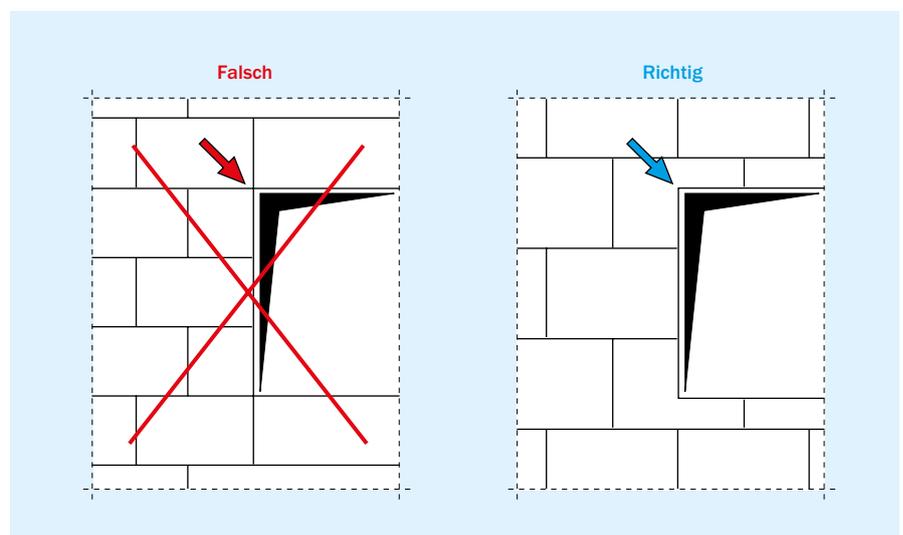


Bild 27 Stoßfugenfreie Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Bereich von Wandöffnungen

4.4.4 Putzsysteme

In überwiegender Anzahl werden Wärmedämm-Verbundsysteme ausgeführt, bei denen der Witterungsschutz durch einen Außenputz erfolgt. Die diesbezüglichen Putzsysteme bestehen aus einem Unterputz mit Gewebeeinlage und einem Oberputz, ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Art des Bindemittels:

- Mineralisch gebundene Putze auf Basis von Kalk-Zement oder Zement
- Organisch gebundene Putze als u.a.
 - Kunstharzputz,
 - Dispersionsputz (aus Polymerdispersion),
 - Silikonputz (aus Silikonharzemulsion und Polymerdispersion)
 - Silikatputz (aus Kali-Wasserglas und Polymerdispersion)

Weitere Unterschiede bestehen hinsichtlich der Dicke der Putzsysteme (Dünn- oder Dickputze mit Einfluss insbesondere auch auf den Schallschutz) und der Art der Ausführung und der resultierenden Oberflächenstruktur (z.B. als Glatt-, Rau- oder Kratzputz).

Kennzeichnend für die Putzsysteme sind u.a. die produktspezifischen Eigenschaften hinsichtlich des notwendigen Feuchte- und Witterungsschutzes. Hier ergeben sich häufig gegenläufige Tendenzen. Ein in dampfdiffusionstechnischer Hinsicht günstiges Putzsystem mit geringer dampfdiffusionsäquivalenter Luftschichtdicke s_d weist in der Regel eine höhere Wasseraufnahme w auf und umgekehrt. Auch aus diesem Grund wird der Außenputz als Systembestandteil im Zusammenhang mit dem Dämmstoff in den Zulassungsbestimmungen exakt festgelegt.

Die Gewebeeinlage aus Textilglas-Gittergewebe hat – vergleichbar mit der Bewehrung im Stahlbeton – in erster Linie die Funktion, vorhandene Zugkräfte aufzunehmen und unvermeidliche Rissbildungen auf ein hinsichtlich der Rissbreite und der Rissverteilung systemverträgliches Maß zu begrenzen. Beim Aufbringen des Unterputzes ist zu beachten, dass die Gewebeeinlage glatt und faltenfrei sowie ohne Hohllagen zu verlegen ist und nicht geknickt werden darf. Das Textilglas-Gittergewebe soll etwa im äußeren Drittelpunkt der Unterputzdicke angeordnet werden. Die Gewebekanten sind mit einer Überlappungsbreite von mehr als 100 mm auszuführen. Im Bereich von Fenster- bzw. Türöffnungen sind die Öffnungsecken mit diagonal ausgerichteten, ausreichend großen Gewebestreifen (ca. 400 mm · 200 mm) zusätzlich zu bewehren (Bild 28).

Eine Unterteilung der Putz-/WDVS-Fläche durch Dehnungsfugen zur Vermeidung unzulässiger Zwangbeanspruchungen ist in der Regel nicht erforderlich, bei Verwendung von Fliesen oder Platten z.B. aus Keramik oder Naturstein als Bekleidung

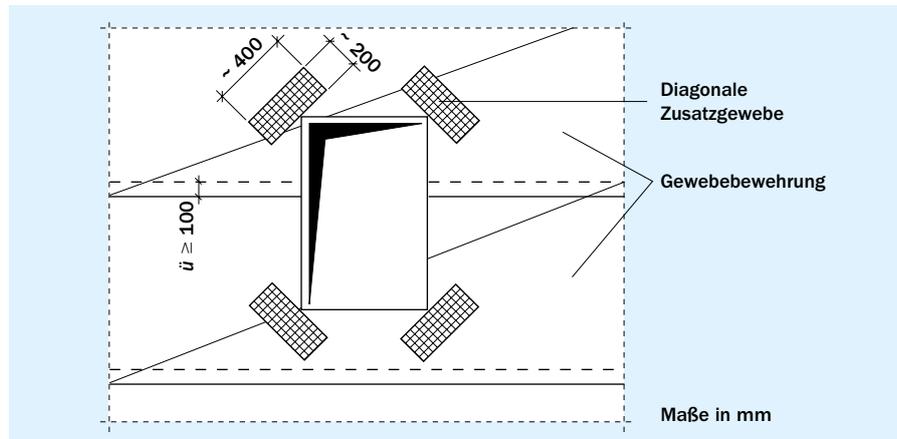


Bild 28 Erforderliche Überlappung der Glasgewebebewehrung sowie diagonale Zusatzbewehrung im Eckbereich von Wandöffnungen

kann jedoch eine Aufteilung in Einzelfelder notwendig werden. Im Einzelnen sind hier die systemspezifischen Vorgaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten.

4.5 Systemeigenschaften

4.5.1 Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit von Wärmedämm-Verbundsystemen wird für den in den Zulassungsbestimmungen definierten Anwendungsbereich im Rahmen des Zulassungsverfahrens systembezogen erbracht. Unter anderem ergeben sich hieraus die Anforderungen an

- den Untergrund (Beschaffenheit, Abreißfestigkeit, Ebenheit, etc.),
- die Verankerung (Befestigungsart, Klebeflächenanteil, Anzahl der Dübel, etc.),
- die WDVS-Komponenten (Querzugfestigkeit, Abreißfestigkeit, etc.).

Wie bereits erwähnt, kann aufgrund der Qualität des KS-Mauerwerks die Verwendung von rein verklebten WDVS mit EPS-Dämmplatten oder Mineralwolle-Lamellen empfohlen werden.

4.5.2 Brandschutz

Die Anforderungen der Landesbauordnungen an die Baustoffklasse der Wärmedämm-Verbundsysteme richten sich nach der Gebäudeklasse und sind der Tafel 8 zu entnehmen.

Tafel 8 Brandschutzanforderungen an Wärmedämm-Verbundsysteme

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

Die überwiegend verwendeten WDVS mit Putz und einer Wärmedämmung aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum oder aus Mineralwolle können exemplarisch anhand der aktuellen Zulassungsbestimmungen brandschutztechnisch wie folgt klassifiziert werden:

- Normalentflammbare WDVS mit mindestens normalentflammbaren EPS-Dämmplatten
- Schwerentflammbare WDVS mit schwerentflammbaren EPS-Dämmplatten und zusätzlichen konstruktiven Brandschutzmaßnahmen (Bilder 29 bis 31):
 - *Brandbeanspruchung von außen:* Als Schutz sind bei Dämmstoffdicken bis zu 300 mm drei umlaufende Brandriegel im Bereich bis zur Decke über dem 2. Obergeschoss und ggf. zusätzlich unterhalb z.B. eines – in wesentlichen Bestandteilen – brennbaren Daches anzuordnen. Diese Brandriegel müssen aus Mineralwolle-Lamellen (nicht brennbar und nicht glimmend mit einer Rohdichte zwischen 60 kg/m^3 und 100 kg/m^3 und einer Querkzugfestigkeit von mindestens 80 kPa) oder Mineralwolle-Dämmplatten (nicht brennbar und nicht glimmend mit einer Rohdichte von mindestens 90 kg/m^3 und einer Querkzugfestigkeit von mindestens 5 kPa) jeweils aus Steinfasern (Schmelzpunkt mindestens $1.000 \text{ }^\circ\text{C}$) bestehen. Bei Dämmstoffdicken von mehr als 300 mm ist (zusätzlich) die Ausführung einer nichtbrennbaren Außenwandbekleidung (z.B. eines nichtbrennbaren WDVS) im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss erforderlich.
 - *Brandbeanspruchung aus den Fensteröffnungen:* Als Schutz sind bei Dämmstoffdicken zwischen 100 und 300 mm ab dem 3. Obergeschoss die Stürze oberhalb aller Fenster aus

nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen oder Mineralwolle-Dämmplatten auszuführen. Vorgesetzt – in der Dämmstoffebene – montierte Fenster sind zusätzlich seitlich in den Laibungen nichtbrennbar einzufassen. Alternativ können umlaufende Brandriegel in mindestens jedem zweiten Geschoss angeordnet werden. Bei Dämmstoffdicken von mehr als 300 mm ist aktuell in einzelnen Zulassungen die nichtbrennbare Ausbildung der Stürze und Laibungen geregelt.

- Zusätzliche konstruktive Anforderungen beziehen sich auf die EPS-Dämmplatten (z.B. zur Begrenzung der Rohdichte und zur Verwendung von Klebemörteln und Klebeschäumen) und auf die Art und Ausführung der Putzsysteme (z.B. zur Gewebeeinlage und zur Putzdicke).

- Normal-/schwerentflammbare WDVS mit normal-/schwerentflammbaren Mineralwolle-Dämmplatten/Mineralwolle-Lamellen
- Nichtbrennbare WDVS mit nichtbrennbaren Mineralwolle-Dämmplatten/Mineralwolle-Lamellen und zusätzlichen konstruktiven Brandschutzmaßnahmen (Begrenzung der Rohdichte und des PCS-Brenn-Werts der Mineralwolle sowie Einschränkungen in der Kombination der Putzsysteme).

Eine zusammenfassende Darstellung der konstruktiven Brandschutzmaßnahmen ist in [29] enthalten. Detaillierte Vorgaben für WDVS mit abZ sind den jeweiligen Zulassungsbestimmungen zu entnehmen, mit Einschränkungen übereinstimmende Regelungen für WDVS mit ETA enthält Anhang 11 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Im Rahmen der Zulassungsbestimmungen können derzeit auch alternative Brandschutzmaßnahmen geregelt werden. Beispiel ist bei

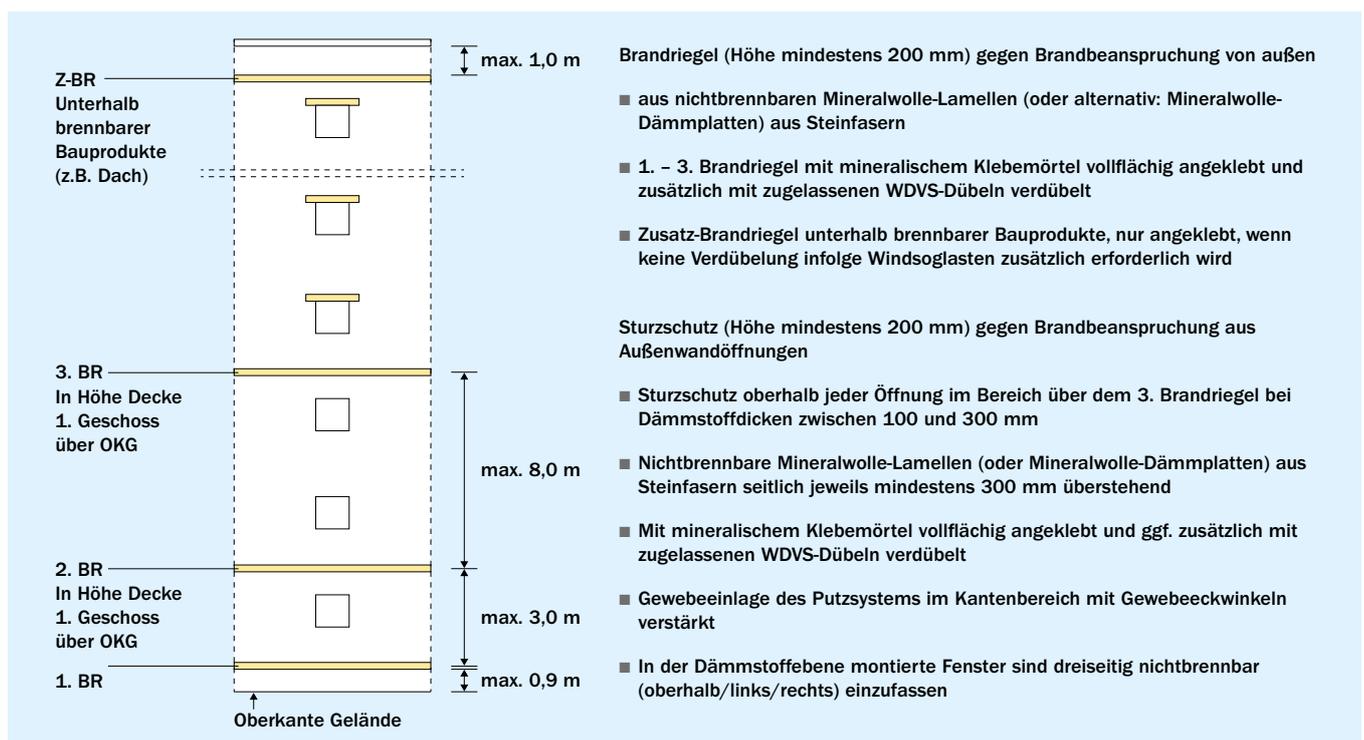
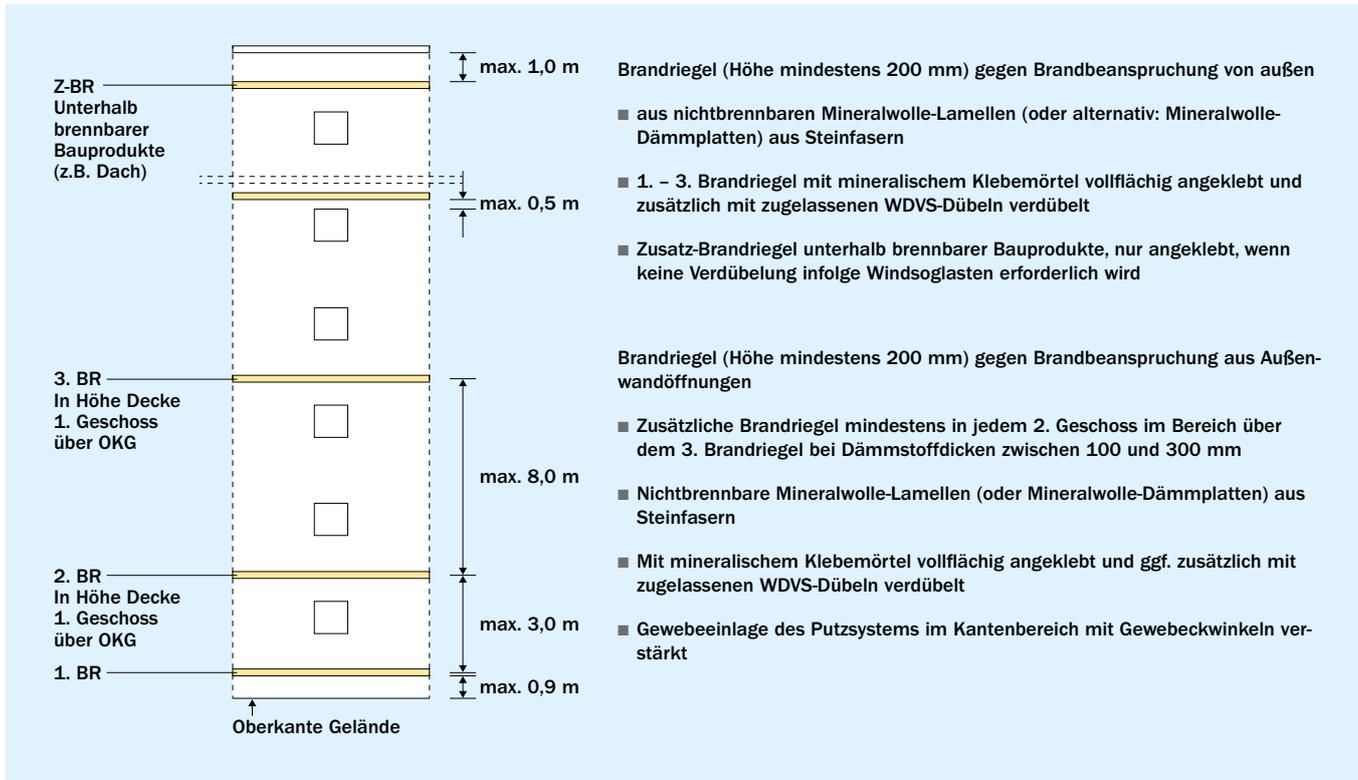
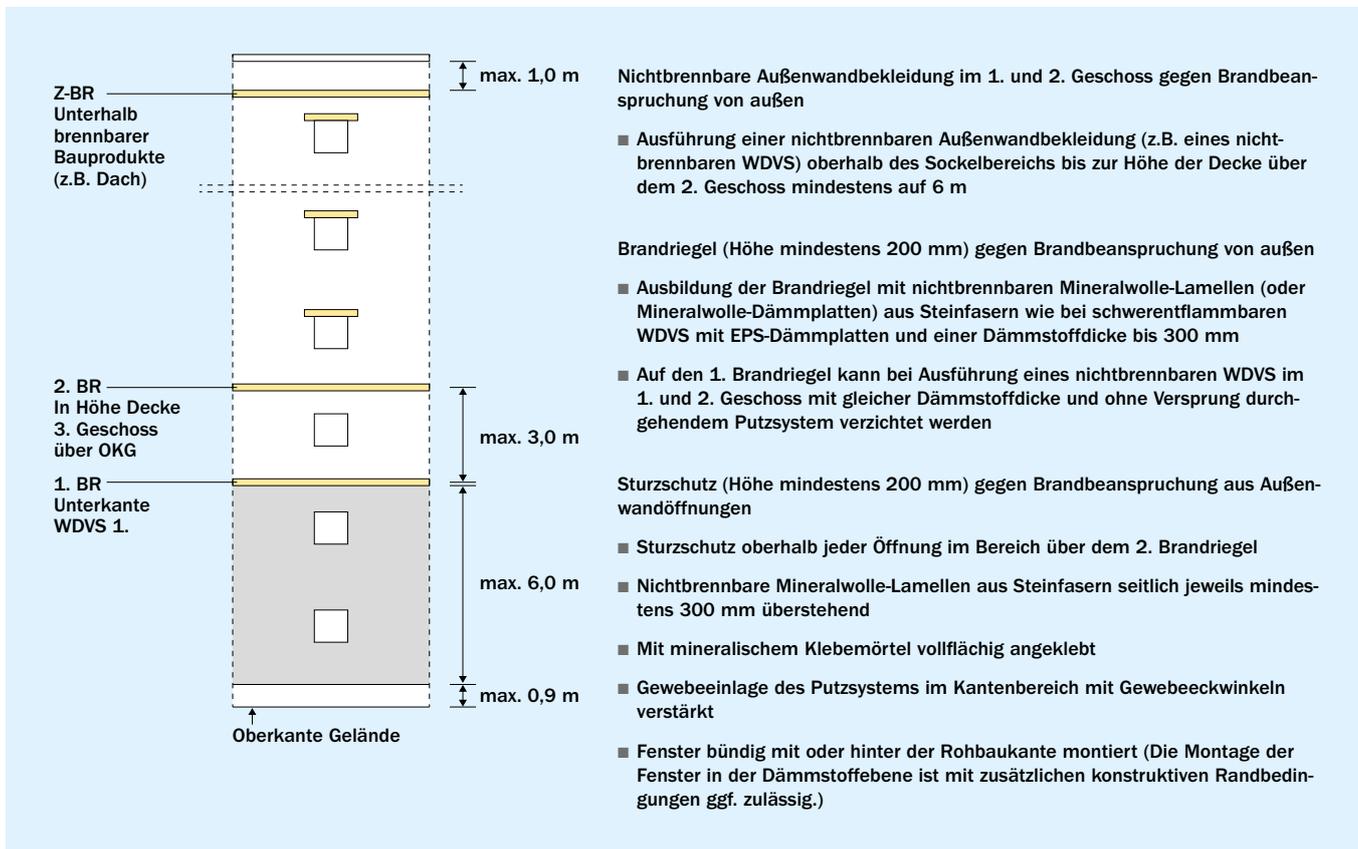
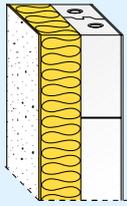


Bild 29 Schwerentflammbare WDVS mit EPS ($d \leq 300 \text{ mm}$) – Ausbildung mit umlaufenden Brandriegeln sowie Schutz der Fensteröffnungen

Bild 30 Schwerentflammare WDVS mit EPS ($d \leq 300$ mm) – Ausbildung alternativ nur mit umlaufenden BrandriegelnBild 31 Schwerentflammare WDVS mit EPS ($d > 300$ mm) – Ausbildung mit nichtbrennbarer Außenwandbekleidung unten und umlaufenden Brandriegeln sowie Schutz der Fensteröffnungen

Tafel 9 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 Wärmedämm-Verbundsystem $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	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 Steinrohdklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

WDVS mit EPS-Dämmplatten der Schutz vor Brandbeanspruchung aus den Fensteröffnungen durch die Ausführung des Putzsystems mit einer zusätzlich vorgelegten Gewebeschlaupe im Sturzbereich bei Verwendung von entsprechend zugelassenen Dämmplatten. Ebenfalls geregelt ist hier ggf. die Ausführung von vertikalen Brandriegeln zur Überbrückung von Brandwänden, die in durchlaufende Außenwände einbinden.

Für eine umfassende Darstellung der brandschutztechnischen Anforderungen an WDVS zur Vermeidung eines Brandüberschlags im Bereich von Gebäudeabschluss- und Gebäudetrennwänden wird auf die Ausführungen im Kapitel Brandschutz dieses Planungshandbuches verwiesen.

Die brandschutztechnisch vergleichbare Klassifizierung von WDVS mit anderen Dämmstoffen ergibt sich jeweils aus den konkreten Zulassungsbestimmungen, so können z.B. Mineralwolle-Dämmplatten ebenfalls für nichtbrennbare WDVS eingesetzt werden.

Die Feuerwiderstandsdauer des tragenden Untergrundes wird durch die baukonstruktiven Gegebenheiten des KS-Mauerwerks definiert, bei Verwendung von nichtbrennbaren Dämmstoffen kann das WDVS als Ersatz für eine ggf. brandschutztechnisch erforderliche Putzschicht angesetzt werden.

4.5.3 Wärmeschutz

Die Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz sind mit Wärmedämm-Verbundsystemen problemlos erfüllbar, da eine Vielzahl von Dämmstoffen mit geringer Wärmeleitfähigkeit und mit Dicken bis zu 400 mm angeboten wird.

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwandkonstruktion ist für WDVS mit Verdübelung und hoher Dübelzahl oder bei Verwendung von thermisch ungünstigen Dübeltypen unter Berücksichtigung eines ggf. punktuell erhöhten Wärmeverlustes zu ermitteln. Thermisch günstige

Dübel zeichnen sich durch einen geringen Wärmeverlustkoeffizienten χ (chi) aus, der den Dübel-Zulassungen entnommen werden kann. Der Nachweis muss nach dem in den Zulassungsbestimmungen angegebenen Algorithmus erbracht werden. In Tafel 10 wird – in Abhängigkeit vom Wärmeverlustkoeffizienten der Dübel und von der Dämmstoffdicke – die Dübelanzahl angegeben, ab der ein Nachweis des Wärmebrückeneinflusses erforderlich wird. Bei ausschließlich verklebten WDVS, deren Ausführung gerade bei Außenwänden aus KS-Mauerwerk prinzipiell zu empfehlen ist, erfolgt systembedingt keine Abminderung des Wärmeschutzes.

Bei üblicher Fassadengestaltung ist nach Energieeinsparverordnung EnEV der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes erforderlich und mit dem in DIN 4108-2 beschriebenen Verfahren zu führen. Nur bei einem vergleichsweise geringen Fensterflächenanteil kann in Abhängigkeit von der Orientierung der Fenster auf diesen Nachweis verzichtet werden. Ziel der Anforderungen ist es, durch geeignete bauliche Maßnahmen – z.B. durch eine schwere Bauart mit hoher speicherfähiger Masse – unzumutbare Temperaturen zu vermeiden und damit auf eine aktive Kühlung verzichten zu können. Aufgrund der hohen Wärmespeicherfähigkeit von Außenwänden aus KS-Mauerwerk ergeben sich bei Verwendung von WDVS – und ebenso bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen und

Tafel 10 Dübelanzahl n je m², ab der eine rechnerische Berücksichtigung des punktuellen Wärmebrückeneinflusses erforderlich ist (Regelung in WDVS-Zulassung)

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

zweischaligem KS-Mauerwerk – günstige Voraussetzungen für diesen Nachweis, so dass auch aufwändige Sonnenschutzvorrichtungen häufig entbehrlich werden.

4.5.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Die Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz werden hinsichtlich der Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelpilzbildung durch die Verwendung von Wärmedämm-Verbundsystemen auf Außenwänden aus KS-Mauerwerk problemlos erfüllt. Bei Systemen mit Mineralwolle-Dämmplatten kommen in der Regel – auch aus brandschutztechnischen Gründen – mineralisch gebundene und damit dampfdiffusionsoffene Putzsysteme zur Anwendung. Bei Systemen mit EPS-Dämmplatten können dampfdiffusionsdichtere organisch gebundene Putzsysteme eingesetzt werden, da Polystyrol gegenüber Mineralwolle einen ca. 20- bis 50-fach größeren Dampfdiffusionswiderstand aufweist.

Um einem gerade im Zusammenhang mit hochdämmenden WDVS häufig formulierten Missverständnis vorzubeugen: Außenwände „atmen“ nicht. Bei üblichen Gebäude- und Bauteilabmessungen ist die durch Lüftung abgeführte Feuchtigkeitsmenge gegenüber der auf dem Wege der Dampfdiffusion durch die Außenwand transportierten Wassermenge (ob mit oder ohne WDVS) etwa 100-fach größer. Voraussetzung ist bei energetisch angestrebter dichter Gebäudehülle selbstverständlich die Einhaltung eines angemessenen Mindestluftwechsels über die Fenster mittels Stoßlüftung, so dass dank des hohen Wärmeschutzes der Außenwände eine Gefährdung durch Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung sicher ausgeschlossen werden kann.

Im Hinblick auf den Schlagregenschutz können WDVS unter allen in DIN 4108-3 formulierten Beanspruchungen eingesetzt werden. Die verwendeten Putzsysteme genügen bei zugelassenen WDVS auch den höchsten Ansprüchen in der Beanspruchungsgruppe III an wasserabweisende Putze:

- Wasseraufnahmekoeffizient: $w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
- dampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke: $s_d \leq 2,0 \text{ m}$
- Begrenzung des Produkts $w \cdot s_d$: $w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$

Detaillierte Angaben zu den Unter- und Oberputzen (oder „Schlussbeschichtungen“) können den Zulassungsbestimmungen entnommen werden.

4.5.5 Schallschutz

Bei einer Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem handelt es sich um einen federgekoppelten Zwei-Massen-Schwinger (Masse 1 = Putzsystem; Feder = Wärmedämmung und Verankerung; Masse 2 = tragende Wandkonstruktion) mit einer jeweils konstruktionsabhängigen Resonanzfrequenz. Unter bestimmten Bedingungen (d.h. bei steifer Verankerung, steifer Wärmedämmung oder leichtem Putzsystem) kann die Resonanzfrequenz im bauakustisch relevanten Bereich liegen und damit zu Einbrüchen des Schalldämm-Maßes führen. Durch die Verwendung von Mineralwolle-Dämmplatten oder elastifizierten EPS-Dämmplatten kann bei größerer Dämmstoffdicke demgegenüber auch eine deutliche Verbesserung des Schallschutzes erzielt werden.

Die Veränderung des bewerteten Schalldämm-Maßes ist durch einen Korrekturwert zu berücksichtigen, der nach bauaufsichtlicher Zulassung als vereinfachter „Pauschalwert“ festgelegt oder alternativ mit einem differenzierten Berechnungsverfahren bestimmt werden kann (Tafel 11). In diese Berechnung gehen u.a. die folgenden Faktoren ein:

- Korrektur in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz des WDVS
- Korrektur für den Anteil der Klebefläche
- Korrektur für das bewertete Schalldämm-Maß der Trägerwand
- Bei Mineralwolle-Dämmplatten oder Mineralwolle-Lamellen zusätzliche Korrektur für den längenbezogenen Strömungswiderstand
- Gegebenenfalls Korrektur zur Berücksichtigung der Verdübelung

Bei der Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung im Gebäude kann der Einfluss eines WDVS vernachlässigt werden, es wird nur die Wandkonstruktion aus KS-Mauerwerk berücksichtigt.

Die Berechnung des Schalldämm-Maßes der gesamten Wandkonstruktion einschließlich WDVS (oder auch z.B. von zweischaligem KS-Mauerwerk) wird durch den KS-Schallschutzrechner [30] ermöglicht.

Tafel 11 Korrekturwerte ΔR_v für das bewertete Schalldämm-Maß bei Verwendung eines WDVS – Beispiel (WDVS mit elastifizierten EPS-Dämmplatten auf 17,5 cm KS-Außenwand, RDK 1,8)¹⁾

		Korrekturwerte ΔR_v für das bewertete Schalldämm-Maß bei Verwendung eines WDVS ¹⁾			
		ausschließlich verklebt Klebeflächenanteil		verklebt und verdübelt Klebeflächenanteil	
		40 %	60 %	40 %	60 %
Dynamische Steifigkeit der Dämmstoffplatten $s' = 5 \text{ MN}/\text{m}^3$	Dünnputz (10 kg/m ²)	+3 dB	+2 dB	0 dB	-1 dB
	Dickputz (20 kg/m ²)	+8 dB	+7 dB	+3 dB	+2 dB
Dynamische Steifigkeit der Dämmstoffplatten $s' = 10 \text{ MN}/\text{m}^3$	Dünnputz (10 kg/m ²)	0 dB	-1 dB	-2 dB	-3 dB
	Dickputz (20 kg/m ²)	+3 dB	+2 dB	0 dB	-1 dB

¹⁾ Die konkret anzusetzenden Korrekturwerte sind gemäß der abZ des gewählten WDVS zu bestimmen.



4.5.6 Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Für den Nachweis der Dauerhaftigkeit werden im Rahmen des Zulassungsverfahrens Prüfungen sowohl an den Einzelkomponenten als auch am Gesamtsystem zum Einfluss klimatisch bedingter Einwirkungen durchgeführt. Dabei ist insbesondere die Bauteilprüfung nach ETAG 004 zu nennen, bei der eine Prüfwand mit Wärmedämm-Verbundsystem (Fläche $\geq 6 \text{ m}^2$ mit Fensteröffnung) einer definierten hygrothermischen Beanspruchung durch Simulation von Klima-Wechselzyklen (Hitze-Regen- und Wärme-Kälte-Zyklen) ausgesetzt wird. Anschließend wird das WDVS visuell im Hinblick auf Schädigungen untersucht und die Haftzugfestigkeit zwischen dem Unterputz und dem Dämmstoff ermittelt.

In Ergänzung zu den nationalen Zulassungsbestimmungen wird häufig die Stoßfestigkeit und der Schutz vor Perforation nach ISO 7892 überprüft und entsprechend den angegebenen Beanspruchungsgruppen bzw. Nutzungskategorien eingestuft:

- Gruppe I: Leicht zugänglicher Bereich in Erdbodennähe ohne Schutz gegen Stöße mit harten Gegenständen (jedoch ohne anormal hohe Beanspruchung)
- Gruppe II: Bereich mit Stoßeinwirkung aus geworfenen oder gestoßenen Gegenständen, im Regelfall unter 5 m Gebäudehöhe
- Gruppe III: Bereich, in dem eine Stoßeinwirkung unwahrscheinlich ist, im Regelfall über 5 m Gebäudehöhe (jedoch sollte im Bereich von Balkonen die Beanspruchungsgruppe II zugrunde gelegt werden)

Diese Ergebnisse werden in den europäischen technischen Bewertungen angegeben oder sind beim Anbieter gesondert zu erfragen.

Primär wirksame Maßnahme zum Schutz vor Algen (und Flechten) ist die dauerhafte Begrenzung des oberflächennahen

Feuchtegehalts im Putzsystem, da bei einem entsprechend geringen Feuchtegehalt die für das Wachstum der Algen notwendigen Voraussetzungen fehlen. Ziel ist dabei insbesondere auch der umweltschonende Verzicht auf den derzeit gebräuchlichen – und wirkungsvollen – Einsatz von den Oberputzen beigefügten Bioziden.

Ursächlich für einen hohen Feuchtegehalt sind die im Bereich des WDVS direkt anfallende Niederschlagsmenge sowie der Ausfall von Oberflächentauwasser. Durch konstruktive Maßnahmen kann zunächst die Beanspruchung durch Regen deutlich verringert werden. Beispiele sind

- ein ausreichender Dachüberstand,
- die Anordnung von Tropfkanten und
- die Verhinderung von stehendem Wasser in Nischen und Rillen.

Zur Vermeidung von Tauwasserbildung auf der Oberfläche durch eine Abkühlung unter die Taupunkttemperatur werden aktuell die folgenden Lösungsansätze verfolgt:

- Einfärbung der Oberflächen mit dunklen Farben zur Erhöhung der Strahlungsenergiegewinne bei gleichzeitiger Erhöhung der Speichermasse (z.B. durch eine dickere Putzschicht) bzw. der spezifischen Wärmespeicherkapazität (ggf. unter Nutzung latent wärmespeichernder Systeme)
- Einsatz von infrarotreflektierenden Beschichtungen, die durch eine geringere langwellige Emission die Strahlungswärmeabgabe in den Nachthimmel reduzieren

Zur weitgehenden Minderung der Aufnahme von oberflächennah anfallender Feuchte im Putzsystem und einer möglichen Verschmutzung werden bereits seit längerem Oberputze bzw.

Beschichtungen mit mikroglatte Oberfläche eingesetzt (z.B. hydrophobierend wirkende und wasserdampfdiffusionsoffene Silikonharz-Beschichtungen mit „Lotus-Effekt“). Neuentwicklungen im Bereich der Beschichtungssysteme mit mikrostrukturierter Oberfläche basieren ebenfalls zum Teil auf bionischen Wirkmechanismen zur beschleunigten Ableitung von Regen und insbesondere Tauwasser. Alternativ wird über die Verwendung von mineralisch gebundenen Dickputzen mit hohem Sorptionsvermögen diskutiert.

4.5.7 Gestaltung

Insbesondere bei Dickputzsystemen wird die gesamte Strukturvielfalt traditioneller Putzsysteme – vom Glattputz bis zum Kratzputz – angeboten. Bei der Verwendung von Glattputzen ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei gleicher Rissbreite Rissbildungen häufiger als optisch störend empfunden werden als bei raueren Putzstrukturen und sich Gerüstlagen eher abzeichnen.

Die angebotene Farbvielfalt wird mit pigmentierten Oberputzen oder durch zusätzliche Farbbeschichtungen erzielt. Um temperaturbedingte Zwängungsspannungen zu begrenzen, sollte der Hellbezugswert der Oberflächen 20 nicht unterschreiten (es sind also möglichst helle Oberflächen anzustreben) und bei in der Fläche unterschiedlich verwendeten Farbtönen nicht zu stark differieren. Durch den Einsatz von neu entwickelten Beschichtungssystemen wird jedoch auch die Nutzung von dunklen Farbtönen unterhalb dieses Grenzwerts möglich. Da der Hellbezugswert jedoch nur das sichtbare Spektrum der Solarstrahlung berücksichtigt, ist in diesem Fall zusätzlich der TSR-Wert zu Bewertung heranzuziehen. Der TSR-Wert beschreibt das Reflexionsverhalten über das gesamte Spektrum (Total Solar Reflectance) und sollte nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht weniger als 25 betragen [31].

Abweichend von der „klassischen“ Variante mit Putz ergeben sich mit keramischen Bekleidungen oder Naturwerksteinbekleidungen in unterschiedlichen Formaten weitere vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten.

4.6 Details

Für den Schutz von (Gebäude-) Ecken und Kanten im Bereich der Fenster- bzw. Türleibungen können Eckschutzgewebe oder Eckschutzprofile (Winkel aus Kunststoff oder korrosionsbeständigem Metall mit/ohne werkseitig applizierten Gewebestreifen) verwendet werden (Bild 32). Durch die Anordnung einer zweiten Gewebeeinlage kann zudem die Stoßfestigkeit in besonders gefährdeten Bereichen (wie z.B. Hofdurchfahrten) weiter erhöht werden.

Gebäudedehnungsfugen in der tragenden Konstruktion sind im Wärmedämm-Verbundsystem durchgehend aufzunehmen (Bilder 33 und 34). Die Ausführung erfolgt mit systemspezifischen Fugenschlaufenprofilen mit angearbeitetem Textilglas-Gittergewebe. Soweit systemkonform, können alternativ imprägnierte und vorkomprimierte Fugendichtungsbänder oder Fugendichtstoffe mit seitlichen Schutzprofilen eingesetzt werden.

Im Bereich von Anschlüssen an angrenzende Bauteile – wie z.B. beim Blendrahmenanschluss – sind ebenfalls Systemlösungen zu verwenden, z.B. mit spezieller Anputzleiste und Fugendichtungsbänder. Fenstersohlbänke sind mit einer seitlichen Aufkantung sowie Unterschnitt im Leibungsbereich des WDVS anzuschließen. Dabei ist insbesondere bei Aluminium-Sohlblechen auf eine Schiebestoßausbildung zu achten, um eine zwängungsfreie Verformungsmöglichkeit zu gewährleisten.

Bei allen Anschlüssen und Fugen muss der erforderliche Schutz vor einer Hinterläufigkeit oder Hinterströmung des WDVS dauerhaft gewährleistet sein.

In Form von Verarbeitungsrichtlinien, technischen Merkblättern etc. werden durch die Systemanbieter eine Vielzahl bewährter Konstruktionsdetails herausgegeben, die über die Angaben in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen hinausgehen. Im Hinblick auf die Vermeidung von Wärmebrücken ist zudem auf Beiblatt 2 zu DIN 4108 und die wärmeschutztechnisch optimierten KS-Details zu verweisen [32].

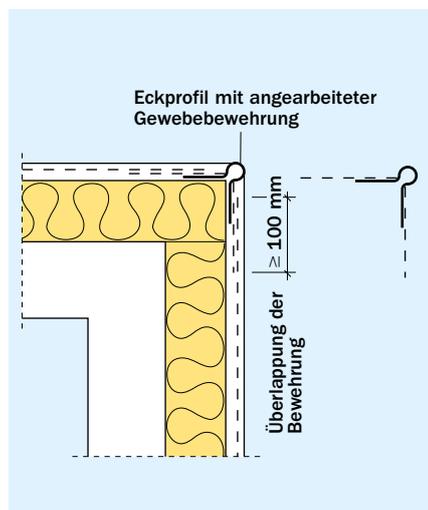


Bild 32 Kantenprofil mit werkseitig angearbeiteten Gewebestreifen

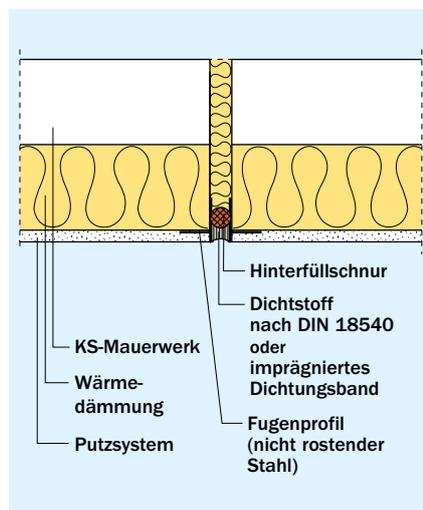


Bild 33 Dehnungsfugenausbildung mit Dichtstoff

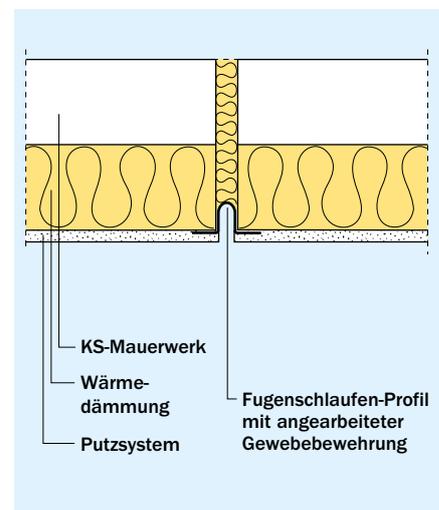


Bild 34 Dehnungsfugenausbildung mit Dehnungsfugenprofil

5. Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

5.1 Konstruktionsprinzip

Das baukonstruktive System (Bild 35) besteht aus den aufeinander abgestimmten Komponenten der hinterlüfteten Außenwandbekleidung (oder auch vorgehängten hinterlüfteten Fassade) mit einer Verankerung im tragenden Untergrund aus KS-Mauerwerk:

- Bekleidung mit Befestigung an der Unterkonstruktion
- Unterkonstruktion mit Verankerung im tragenden Untergrund
- Wärmedämmung
- Hinterlüftung zwischen Bekleidung und Wärmedämmung

Kennzeichnend für hinterlüftete Außenwandbekleidungen sind neben dem guten dampfdiffusionstechnischen Verhalten die Gestaltungsvielfalt durch die vielfältigsten Formate und Werkstoffe der Bekleidung sowie die vergleichsweise einfachen Möglichkeiten der Reinigung und der ggf. gewünschten späteren Demontage und Umgestaltung der Bekleidung. Dabei besteht ein wesentliches Konstruktionsprinzip in den zwängungsfreien Verformungsmöglichkeiten sowohl der Unterkonstruktion als auch der Bekleidungselemente durch die Anordnung von Fest- und Gleitpunkten.

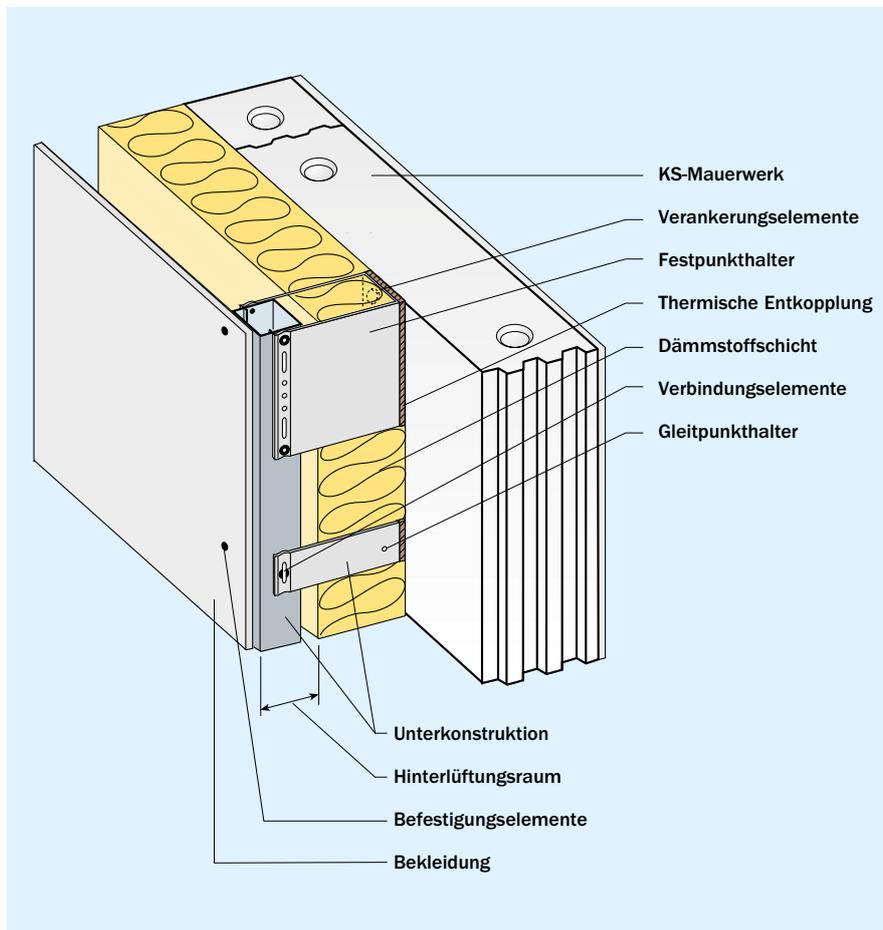


Bild 35 Konstruktionselemente von vorgehängten hinterlüfteten Außenwandbekleidungen

5.2 Entwicklung

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen sind in Form von kleinformatigen Schiefer- oder Holzschindel-Bekleidungen bereits seit dem Mittelalter bekannt. Zeugen dieser Bauweise finden sich beispielsweise in der Eifel, im Harz, in Thüringen und in Sachsen. Dabei sind bis heute die Deckungsbilder, wie die „Deutsche Deckung“, die „Wabendeckung“ oder die „Schablonendeckung“, traditionell überliefert. Hinterlüftete Außenwandbekleidungen mit großformatigen Platten aus z.B. Naturwerkstein oder Keramik werden seit dem 20. Jahrhundert verwendet.

Aktuell kann im Hinblick auf die Anwendungsbereiche in erster Linie zwischen den kleinformatigen Bekleidungen in überwiegend handwerklicher Tradition auf Unterkonstruktionen aus Holz für den Ein- und Zweifamilien-Hausbau und den großformatigen Bekleidungen auf Unterkonstruktionen aus vorwiegend Aluminium für den mehrgeschossigen Wohnungs- und insbesondere Verwaltungsbau unterschieden werden.

5.3 Baurechtliche Regelung

Ein wesentliches Kriterium für die baurechtliche Einordnung von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen ist das Format der Bekleidungselemente:

- Für *großformatige Bekleidungselemente* gelten die Bestimmungen der DIN 18516 [33]. In der Regel erfolgt der Nachweis der Verwendbarkeit im Zusammenhang mit den Befestigungselementen durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder eine europäische technische Bewertung (ETA).
- *Kleinformatige Bekleidungselemente* (bis 0,4 m² Fläche und bis 5,0 kg Eigenlast) oder *brettformatige Bekleidungselemente* (bis 0,3 m Breite und mit Unterstützungsabständen bis 0,8 m) sind nicht Gegenstand der DIN 18516. Bei einer Befestigung nach allgemein anerkannten Regeln der Technik benötigen diese Bekleidungselemente nach der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (bzw. der Bauregelliste C) hinsichtlich der Standsicherheit keinen Verwendbarkeitsnachweis.

Grundlagen für den Nachweis der Verwendbarkeit der Unterkonstruktion sind in Verbindung mit der DIN 18516 die Bestimmungen der jeweils baustoffbezogenen Normen, d.h. aktuell vorwiegend der (bauaufsichtlich) eingeführten Eurocodes. Für niet- und schraubenartige Verbindungselemente erfolgt der Nachweis gemäß der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (bzw. der

Bauregelliste A, Teil 2) durch ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP).

Die Verankerung der Unterkonstruktion erfolgt überwiegend mit Dübeln, alternativ mit Ankerbolzen oder Injektionsankern, für die jeweils eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine europäische technische Bewertung erforderlich ist. Ausgenommen sind die in DIN 18516-3 geregelten Varianten der „direkten“ Verankerung von Bekleidungen aus Naturwerkstein ohne Unterkonstruktion.

Für die Dämmstoffe gelten die Bestimmungen der DIN 4108-10 für den Anwendungsbereich WAB (Außendämmung der Wand hinter Bekleidung).

5.4 Komponenten

5.4.1 Tragender Untergrund

Der tragende Untergrund dient der Verankerung der Unterkonstruktion, bei Verwendung von Dübeln ist die Tragfähigkeit in den aktuellen Zulassungsbestimmungen in Form von charakteristischen Werten in Abhängigkeit vom Verankerungsgrund anzugeben.

INFO

Wände aus KS-Mauerwerk sind als tragender Untergrund sehr gut geeignet und ermöglichen mit geringer Dübelanzahl wirtschaftlich günstige Systemlösungen.

An die Ebenheit des Untergrunds werden bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen deutlich geringere Anforderungen als bei Wärmedämm-Verbundsystemen gestellt, da durch die Verankerungselemente und die Unterkonstruktion auch ein größerer Toleranzausgleich einfach möglich ist. Ein Vorteil, der wegen der handwerklich problemlos zu gewährleistenden Ebenheit von KS-Mauerwerk jedoch nicht ausgenutzt werden muss.

5.4.2 Verankerungselemente

Die für die mechanische Verankerung der Unterkonstruktion überwiegend verwendeten Dübel bestehen aus einer Dübelhülse aus Kunststoff und einer Dübelschraube aus nichtrostendem Stahl oder bei Einhaltung besonderer Korrosionsschutzmaßnahmen aus galvanisch verzinktem Stahl, alternativ können Ankerbolzen oder Injektionsanker eingesetzt werden. Falls keine Unterkonstruktion erforderlich sein sollte (wie bei Bekleidungen aus Naturwerkstein mit eingemörtelten Anker nach DIN 18516-3), erfolgt die Verankerung der Bekleidungs-elemente unmittelbar durch die Trag- und Halteanker.

5.4.3 Unterkonstruktion und Verbindungselemente

Die Unterkonstruktion ist das baukonstruktive Bindeglied zwischen der Bekleidung und dem tragenden Untergrund und muss alle Einwirkungen aus den Eigenlasten, dem Windsog und dem Winddruck dauerhaft übertragen. Unterkonstruktionen werden überwiegend aus Metall (Aluminium oder selten nichtrostendem Stahl) hergestellt (Bild 36). Bei geringeren Anforderungen – vorwiegend für kleinformatige Bekleidungs-elemente – werden Unterkonstruktionen aus Holz verwendet (Bild 37).

Ein wesentliches Konstruktionsprinzip von Metall-Unterkonstruktionen ist die zwängungsfreie Aufnahme der thermisch bedingten Verformungen, die durch die Ausbildung von Fest- und Gleitpunkten gewährleistet wird. Für die Anwendung existieren vielfältige Systemlösungen mit unterschiedlich gestalteten Tragprofilen und Wandhaltern (oder seltener auch Abstandsdübeln), die auf die jeweiligen Bekleidungs-elemente abgestimmt sind. Als Verbindungsmittel zwischen den Tragprofilen und Wandhaltern werden vorwiegend Niete verwendet, die sich an den Fest- und Gleitpunkten schnell und nachprüfbar setzen lassen.

Bei Holz-Unterkonstruktionen werden sowohl Zweifach- als auch Dreifachlattungen ausgeführt, als Verbindungsmittel zwischen den Trag- und Konterlattungen werden Holzschrauben oder Sondernägel eingesetzt.

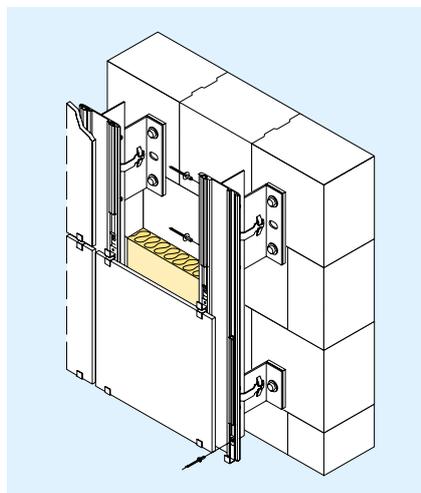


Bild 36 Aluminium-Unterkonstruktion mit Wandhaltern

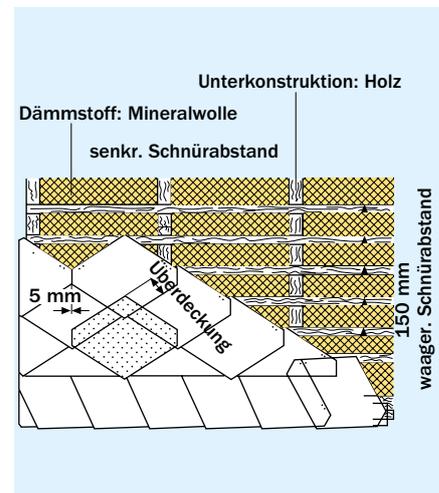


Bild 37 Holz-Unterkonstruktion, hier: Zweifachlattung mit kleinformatiger Bekleidung in Rhombus-Schablonen-Deckung

5.4.4 Wärmedämmung

Die Wärmedämmung muss – bei in der Regel geschossübergreifendem Hinterlüftungsraum – aus nicht brennbaren Dämmstoffen bestehen. Verwendet werden unkaschierte oder vlieskaschierte Dämmplatten aus Mineralwolle mit Wärmeleitfähigkeiten vorwiegend zwischen $0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und $0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, die für den Anwendungsbereich WAB nach DIN 4108-10 geregelt sind.

Die Dämmplatten sind durchgehend wasserabweisend, die mögliche werkseitige Kaschierung mit einem dampfdiffusionsoffenen Glasvlies dient als zusätzlicher Witterungsschutz während der Bauphase, zudem wird durch ein schwarzes Glasvlies erreicht, dass bei Bekleidungen mit offenen Fugen der Dämmstoff optisch nicht erkennbar ist.

Die Verlegung der Dämmplatten erfolgt grundsätzlich dicht gestoßen im Verband (Bild 38). Dabei muss die Wärmedämmung auch an angrenzende Bauteile und insbesondere an die Unterkonstruktion dicht angepasst werden, um Wärmebrücken zu vermeiden. Die Dämmplatten sind hohlraumfrei zum Untergrund zu verlegen, um eine Hinterströmung durch die Außenluft zu verhindern.

Die Dämmplatten werden überwiegend mechanisch mit Dämmstoffhaltern aus Kunststoff befestigt. Im Mittel sind fünf Dämmstoffhalter pro m^2 zu setzen, für neu entwickelte Dämmplatten wird jedoch eine Reduzierung der Anzahl angestrebt. Um eine unzulässige Komprimierung der Dämmstoffdicke am Befestigungspunkt zu verhindern, sind vorzugsweise Dämmstoffhalter mit Tiefenanschlag einzusetzen (Bild 39).

Bei ausreichend tragfähigem Untergrund – wie KS-Mauerwerk – können die Dämmplatten auch mit (mineralischen) Bauklebern vorzugsweise im Wulst-Punkt-Verfahren fixiert werden. Die Querszugfestigkeit muss in diesem Fall mindestens 1 kPa betragen.

Bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Außenwandkonstruktion ist der Einfluss der der Verankerung der Unterkonstruktion zu berücksichtigen [34]. Punktuelle Beeinträchtigungen können hier durch die thermische

Trennung der Wandhalter vom Untergrund mit einer wärmedämmenden Unterlagscheibe z.B. aus geschlossenzelligem Hart-PVC (Bild 40) minimiert werden. Eine neue Entwicklung sind Wandhalter mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, die eine thermische Trennung in ihrem tragenden Querschnitt aufweisen.

Bei geringeren Anforderungen an den Brandschutz, d.h. unter der Voraussetzung einer nicht geschossübergreifenden Hinterlüftung, können nach jeweiliger Landesbauordnung in den Gebäudeklassen 1 bis 3 normalentflammbare Dämmstoffe und in den Gebäudeklasse 4 und 5 schwerentflammbare Dämmstoffe verwendet werden. Die geschossweise erforderliche und vollständige Unterbrechung der Hinterlüftung ist jedoch mit erheblichen Problemen hinsichtlich des erforderlichen Feuchte-/Wasserdampftransports verbunden. Insofern ist dieser Ansatz mit Ausnahme von eingeschossigen Gebäuden als Sonderfall zu werten, z.B. für den räumlich bedingten (und detailliert zu planenden) Einsatz von „Vakuum-Isolations-Paneelen (VIP)“ mit äußerst geringer Wärmeleitfähigkeit. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass mit dieser Ausführung von den Vorgaben der VOB – Teil C (hier DIN 18351) zur Verwendung ausschließlich von Mineralwolle-Dämmplatten abgewichen wird.

5.4.5 Hinterlüftung

Nach DIN 18516-1 ist für den Hinterlüftungsraum zwischen der Bekleidung und der Wärmedämmung eine Mindesttiefe von 20 mm ausreichend, die örtlich auf 5 mm reduziert werden darf. Bei der Ausbildung von offenen Fugen zwischen den Bekleidungselementen sollte jedoch im Hinblick auf den Witterungsschutz eine erhöhte Mindesttiefe von 40 mm eingehalten werden. Im Hinblick auf den Brandschutz ist die maximale Tiefe bei geschossübergreifender Hinterlüftung auf 50 mm für Unterkonstruktionen aus Holz und 150 mm für Unterkonstruktionen aus Metall begrenzt.

An den Kopf- und Fußpunkten der hinterlüfteten Außenwandbekleidung sind Be- und Entlüftungsöffnungen von 50 cm^2 /(lfd. m Fassadenlänge) anzuordnen, die mit so genannten Insektengittern oder Ähnlichem gesichert werden sollten.

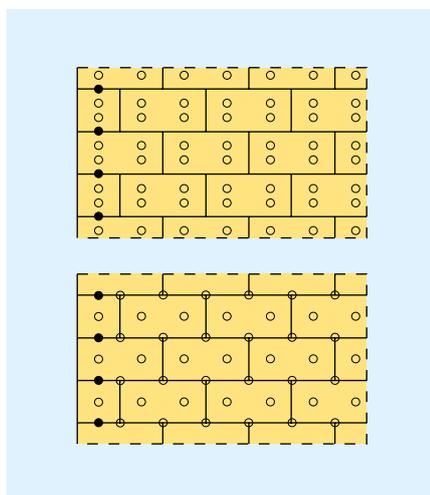


Bild 38 Anordnung von Dämmstoffhaltern

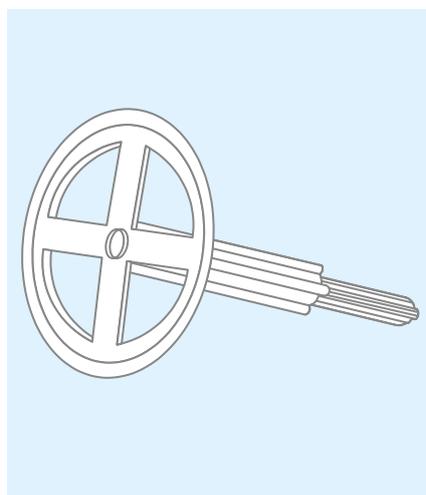


Bild 39 Dämmstoffhalter mit Tiefenanschlag

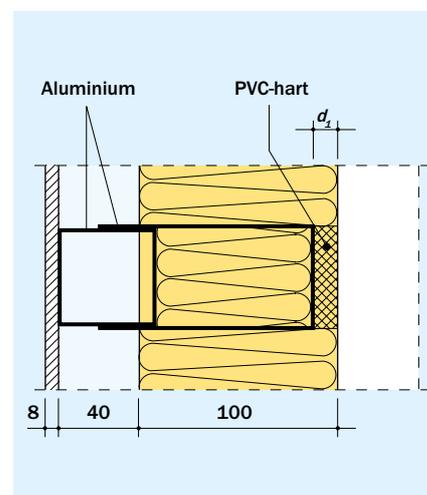


Bild 40 Maßnahmen zur Minimierung des Wärmebrückeneinflusses von Wandhaltern (aus [35])

5.4.6 Bekleidung und Befestigungselemente

Neben den traditionell kleinformatigen Bekleidungselementen (aus z.B. Holz oder Schiefer) wird eine Vielzahl von Werkstoffen angeboten, die in ihren gebräuchlichsten Anwendungen in Tafel 12 zusammengestellt sind.

Die Befestigung erfolgt in Abhängigkeit vom Werkstoff und vom Format der Bekleidungselemente sowie von der Unterkonstruktion:

- Klein- und brettformatige Bekleidungselemente mit traditionellen Deckungsbildern oder in Form von Schalungen werden überwiegend auf Holz-Unterkonstruktionen verwendet, die Befestigung erfolgt mit Schrauben, Schraubnägeln oder Haken.
- Für großformatige Bekleidungselemente werden in der Regel Metall-Unterkonstruktionen eingesetzt. Die Befestigung kann u.a. mit Klammern (wie Bild 36) oder Nieten (Bild 41) oder nicht sichtbar mit rückseitig gesetzten Hinterschnittankern (Bild 42) erfolgen. Zur zwängungsfreien Befestigung von z.B. Faserzementtafeln mit Nieten erfolgen die Bohrungen zunächst in den Faserzementtafeln und anschließend als Stufenbohrung mit einer Bohrlehre in den Tragprofilen der Unterkonstruktion. Durch die Bohrlehre wird ein zentrischer Sitz des Niets im größeren Bohrloch der Faserzementtafel und damit eine zwängungsfreie Aufnahme der hygrothermischen Verformungen der Bekleidung gewährleistet. Bei Verwendung von Hinterschnittankern mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (u.a. für Faserzement, Keramik und HPL) werden die erforderlichen Gleitpunkte durch die Verbindung mit speziellen Agraffen ausgebildet,

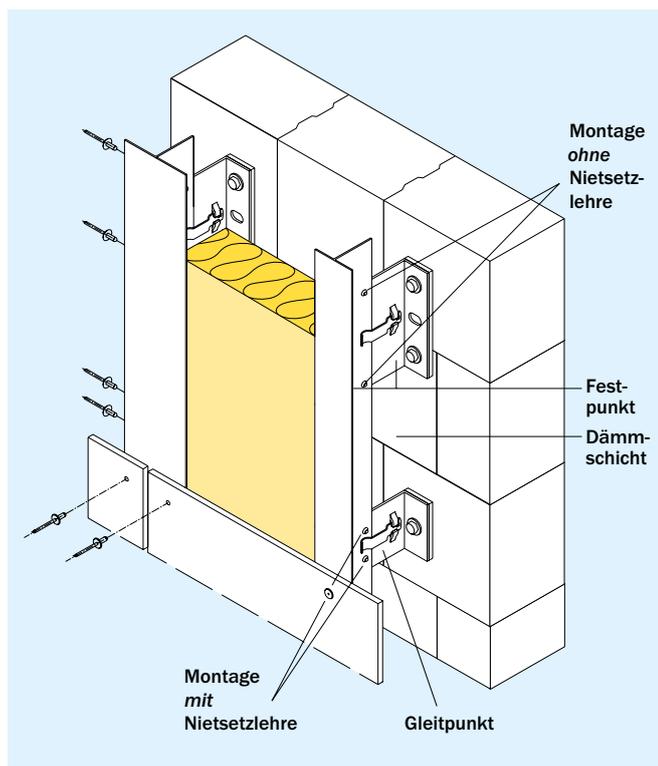


Bild 41 Sichtbare Nietbefestigung von großformatiger Bekleidung

Tafel 12 Gebräuchliche Materialien für Bekleidungselemente

Werkstoff der Bekleidung	Anwendung		
	großformatig	kleinformatig	brettformatig
Metall	x	x	–
Naturwerkstein	x	x	–
Keramik	x	x	–
Tonstrangelemente	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

die justierbar und in Plattenebene zweiachsig zwängungsfrei in die Tragprofile der Unterkonstruktion eingehängt werden.

- Die Befestigung von großformatigen Bekleidungselementen aus Naturwerkstein kann bei Verwendung einer Metall-Unterkonstruktion nach DIN 18516-3 sichtbar mit Schrauben (Bild 43) oder nicht sichtbar mit Nutlagerung (Bild 44) erfolgen. Davon abweichend können mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung wiederum Hinterschnittanker (Bild 45) – bei dann möglichen geringeren Dicken der Naturwerksteinplatten – in Verbindung mit Agraffen verwendet werden. Die eher traditionelle Variante ist die Direktverankerung der Na-

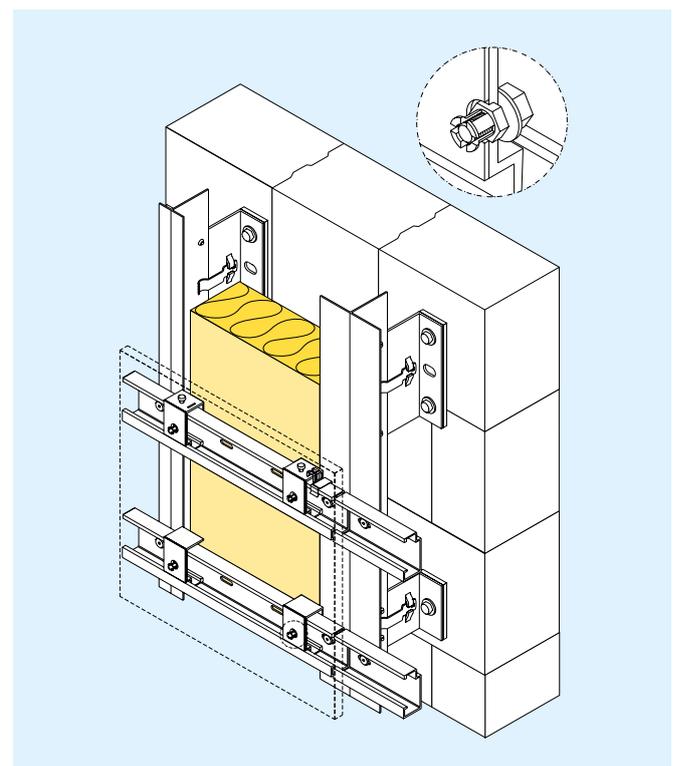


Bild 42 Nicht sichtbare Befestigung von großformatiger Bekleidung mit Hinterschnittdübeln

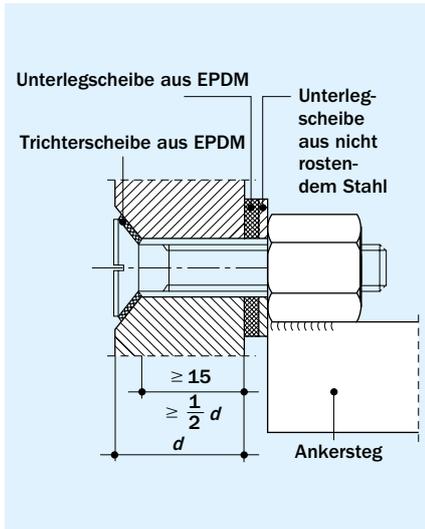


Bild 43 Sichtbare Schraubbefestigung von Naturwerksteinbekleidungen

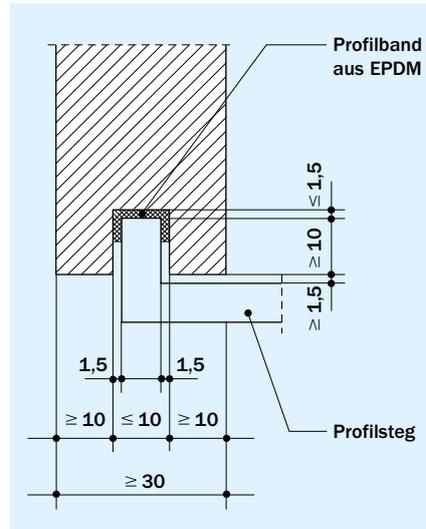


Bild 44 Nicht sichtbare Befestigung mit Profilstegen

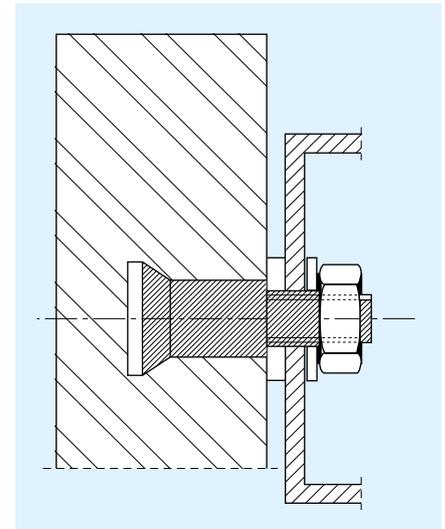


Bild 45 Nicht sichtbare Befestigung in den Bekleidungsplatten mit Hinterschnittdübeln

turwerksteinplatten ohne Unterkonstruktion mit eingemörtelten Trag- und Halteankern.

- Großformatige Bekleidungs-elemente aus Metall, die meist kassettenförmig profiliert sind, um ihre Biegesteifigkeit zu erhöhen, werden mit Nieten oder häufig auch hängend befestigt. Dabei werden sowohl sichtbare als auch nicht sichtbare Varianten angeboten. Die oberen Befestigungspunkte dienen zur Aufnahme der Eigenlast sowie der Windlasten, die unteren nur zur Aufnahme der Windlasten. Durch die hängende Befestigung ist eine zwängungsfreie Verformungsmöglichkeit gewährleistet. Um störende Geräuschentwicklungen infolge von Reibung bei temperaturbedingter Ausdehnung oder Verkürzung zu vermeiden, werden die Einhängebolzen mit einer Kunststoffbeschichtung/Kunststoffummantelung versehen.

Neben den hier exemplarisch genannten Befestigungsarten wird eine Vielzahl von Varianten angeboten, zum Teil werden die Befestigungsmittel auch als punktuelle Gestaltungselemente für die Fassaden eingesetzt.

5.5 Eigenschaften

5.5.1 Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit erfolgt objektbezogen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Ansatz der Vorgaben der DIN 18516. Bei Verwendung von großformatigen Bekleidungs-elementen sind in der Bemessung die Lagerungsbedingungen in Abhängigkeit vom Steifigkeitsverhältnis zwischen der Bekleidung und der Unterkonstruktion zu berücksichtigen. Zwangsbeanspruchungen aus behinderter hygrothermischer Verformung werden durch das Konstruktionsprinzip der zwängungsfreien Verformungsmöglichkeit mittels Fest- und Gleitpunkten ausgeschlossen. Aufgrund der vielfältig systemabhängigen Parameter wird der Nachweis häufig von den Systemanbietern als Serviceleistung angeboten.

Hinsichtlich der Einwirkungen infolge Windbeanspruchung zeigten Untersuchungen im Windkanal und in situ, dass auf den Ansatz erhöhter Windsoglasten im Gebäuderandbereich verzichtet werden kann, wenn eine dauerhaft wirksame vertikale Windsperre im Bereich der Gebäudekanten (Bild 46) ange-

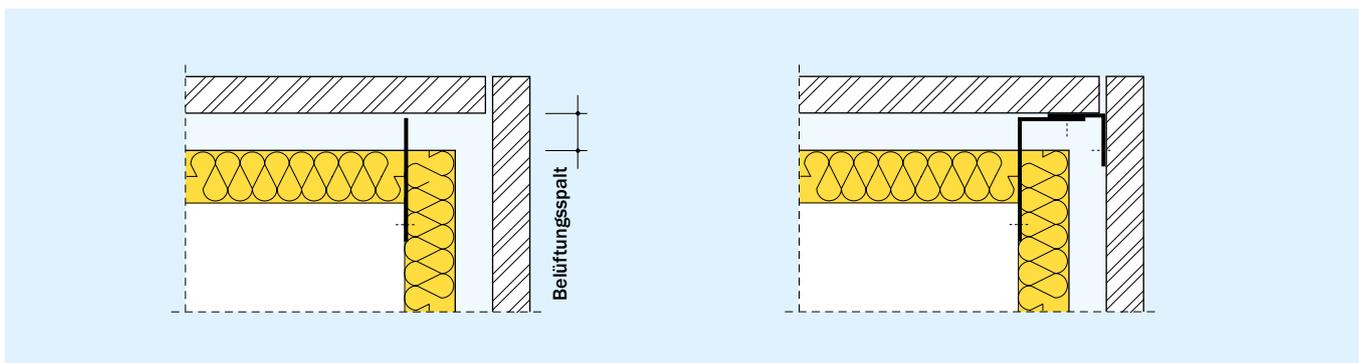


Bild 46 Vertikale Windsperre im Bereich von Gebäudekanten zur Reduzierung der Windsoglasten im Randbereich [35]

ordnet wird und die Außenwandbekleidung eine ausreichende Durchlässigkeit aufweist. Eine diesbezügliche Regelung wurde mit einer Begrenzung der Luftschichtdicke in DIN EN 1991-1-4 und den zugehörigen Nationalen Anhang aufgenommen.

5.5.2 Brandschutz

Die Vorgaben der Landesbauordnungen zur Baustoffklasse der Einzelkomponenten sind unter Einbeziehung der zusätzlichen Anforderungen bei geschossübergreifender Hinterlüftung (d.h. im Regelfall bei mehrgeschossigen Bauten) in der Tafel 13 dargestellt.

Als ergänzende konstruktive Anforderung zur Verhinderung einer Brandausbreitung sind nach den Regelungen im Anhang 6 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen in jedem zweiten Geschoss *horizontale Brandsperren* im Hinterlüftungsraum zwischen dem tragenden Untergrund und der Bekleidung anzuordnen. Bei üblicherweise außenliegender Wärmedämmung genügt der Einbau zwischen den Dämmplatten und der Bekleidung, wenn der Dämmstoff im Brandfall formstabil ist und einen Schmelzpunkt von mehr als 1.000 °C aufweist.

Tafel 13 Brandschutzanforderungen an die Komponenten von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen

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

Die Brandsperren müssen über mindestens 30 Minuten ausreichend formstabil sein (z.B. aus Stahlblech mit einer Dicke von mindestens 1 mm) und im tragenden Untergrund in Abständen von höchstens 60 cm verankert werden. Unterkonstruktionen aus brennbaren Baustoffen sind im Bereich der Brandsperren vollständig zu trennen. Die Größe von Öffnungen in den Brandsperren ist auf 100 cm²/(lfd. m Fassadenlänge) begrenzt. Die Öffnungen können als gleichmäßig verteilte Einzelöffnungen oder als durchgehender Spalt angeordnet werden.

Nicht erforderlich sind diese horizontalen Brandsperren

- bei Außenwänden ohne Öffnungen,
- wenn durch die Fensteranordnung eine Brandausbreitung im Hinterlüftungsraum ausgeschlossen ist (z.B. bei durchgehenden Fensterbändern) oder
- bei Verwendung von ausschließlich nichtbrennbaren Baustoffen für alle Bauteile, wenn der Hinterlüftungsraum im Laibungsbereich von Öffnungen umlaufend im Brandfall über mindestens 30 Minuten formstabil verschlossen ist.

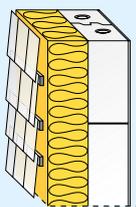
Der Hinterlüftungsraum mit einer maximal zulässigen Tiefe von 50 mm (bei Holz-Unterkonstruktionen) bzw. 150 mm (bei Metall-Unterkonstruktionen) darf zudem nicht über eine Brandwand geführt werden. Als entsprechend erforderliche *vertikale Brandsperre* ist der Hinterlüftungsraum mindestens in Brandwanddicke mit einem im Brandfall formstabilen Dämmstoff mit einem Schmelzpunkt von mindestens 1.000 °C zu schließen.

Die Einstufung der Feuerwiderstandsdauer der Außenwand erfolgt anhand der baukonstruktiven Gegebenheiten des KS-Mauerwerks, die hinterlüftete Außenwandbekleidung ist in ihrem brandschutztechnischen Einfluss wie eine Putzschicht zu berücksichtigen.

5.5.3 Wärmeschutz

Mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen können auch die höchsten Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz er-

Tafel 14 U-Werte von einschaligen KS-Außenwänden mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

	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	
	31,5	10	–	–	0,28	0,30	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	33,5	12	–	–	0,24	0,26	
	37,5	16	–	–	0,18	0,20	
	41,5	20	–	–	0,15	0,16	
	45,5	24	–	–	0,13	0,14	
	51,5	30	–	–	0,10	0,11	
							0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung

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.

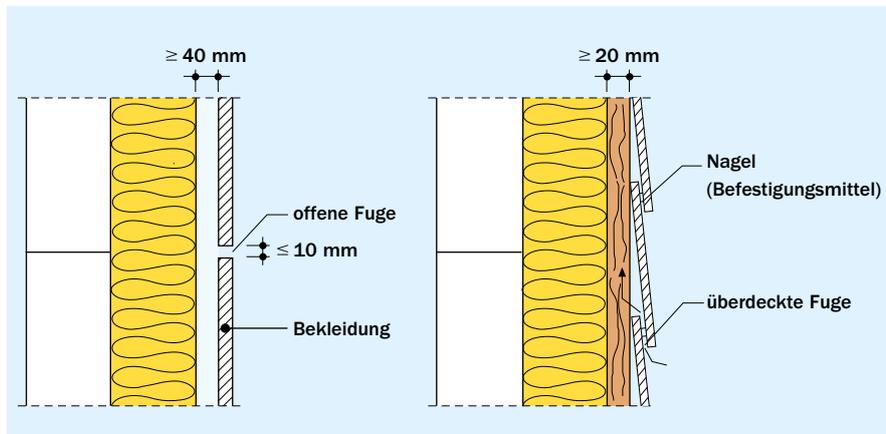


Bild 47 Fugenausbildung bei hinterlüfteten Bekleidungen (aus [35])

füllt werden, da durch die Dimensionierung der Unterkonstruktion und der Verankerung nahezu jede beliebige Dämmstoffdicke eingesetzt werden kann. Wie bereits oben ausgeführt, sind dabei punktuelle Beeinträchtigungen im Bereich der Verankerung, soweit nicht durch konstruktive Maßnahmen zur thermischen Trennung ausgeschlossen, bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz erweisen sich Außenwände aus KS-Mauerwerk mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen aufgrund der Wärmeabfuhr durch die Hinterlüftung der Bekleidung, der außen liegenden Wärmedämmung und der innen liegenden hohen speicherfähigen Masse als besonders günstig. Auf Grundlage der Ergebnisse von aktuellen Untersuchungen erscheint perspektivisch zudem die Nutzung der im Hinterlüftungsraum anfallenden Wärme zur energetischen Gebäudeoptimierung möglich.

Tafel 15 Untersuchungsergebnisse der Schalldämmung vorgehängter hinterlüfteter Fassaden nach DIN 52210 [36] (Grundkonstruktion: 24 cm KS-Mauerwerk, einseitig verputzt mit $R_w = 54$ dB)

Nr.	Fassadenbekleidung		Fugen		Unterkonstruktion		Mineralwolle-dämmung		$R_{w,P}$ [dB]
	Material	Formate [mm]	offen	geschl.	Alu	Holz	6 cm	12 cm	
1	Faserzement, 4,5 mm	600 x 300	X		X		X		62
2			X		X			X	64
3	Faserzement, 8 mm	2.500 x 1.110	X		X		X		62
4				X	X			X	62
5	Aluminium-Sandwich, 4 mm	2.513 x 1.120	X		X		X		62
6			X		X			X	62
7	Keramik, 8 mm	592 x 592	X		X		X		60
8			X		X			X	63
9	Tonstrangplatten	200 x 390		X	X		X ¹⁾		64
10	Aluminium, bandbeschichtet, 2 mm	630 x 4.480		X	X			X	66
11		1.228 x 4.480		X	X			X	64

¹⁾ 8 cm Dämmstoffdicke

5.5.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Außenwände aus KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung erweisen sich hinsichtlich des Schutzes vor Tauwasserbildung als besonders geeignet, da der Dampfdiffusionswiderstand von innen nach außen signifikant abnimmt und der durch Diffusion transportierte Wasserdampf im Hinterlüftungsraum sicher abgeführt werden kann. Mit diesem Mechanismus des Wasserdampftransports ergeben sich auch für die Austrocknung von Baufeuchte günstige Bedingungen. Der Schutz vor Schimmelpilzbildung wird bei Vermeidung von Wärmebrücken durch den hohen Wärmedurchlasswiderstand und die entsprechend hohen raumseitigen Oberflächentemperaturen gewährleistet.

Der Schutz vor Schlagregen und Spritzwasser erfolgt im Zusammenwirken der Bekleidung mit der Hinterlüftung. Durch die Bekleidung wird die Menge der eindringenden Feuchte begrenzt, durch die Hinterlüftung wird diese Feuchte in Form von Wasserdampf in kurzer Zeit nach außen abgeführt.

Bei traditionellen kleinformatigen Bekleidungselementen erfolgt der Witterungsschutz im Bereich der Fugen durch die notwendige Überdeckung (Bild 47). Bei großformatigen Bekleidungselementen sind offene Fugen möglich, wenn die Fugenbreite maximal 10 mm beträgt und der Abstand der Bekleidung zur Wärmedämmung gegenüber den Mindestanforderungen nach DIN 18516-1 auf 40 mm erhöht wird. Unter diesen Voraussetzungen ist die eindringende Feuchte von vernachlässigbarer Größenordnung, da bei Verwendung von hydrophobierten Mineralwolle-Dämmplatten lediglich ein 3 bis 4 cm breiter Streifen im Fugenbereich bis zu einer Tiefe von ca. 1 mm durchfeuchtet und die Feuchte nach Beendigung der Regenphase durch Dampfdiffusion schnell abgeführt wird. Aus diesem Grund können hinterlüftete Außenwandbekleidungen auch mit offenen Fugen in der höchsten Beanspruchungsgruppe III gemäß DIN 4108-3 verwendet werden.

5.5.5 Schallschutz

Umfangreiche Eignungsprüfungen [36] an Außenwänden aus KS-Mauerwerk zeigen, dass mit einer hinterlüfteten Außenwandbekleidung eine nochmals deutliche Verbesserung der Direktschalldämmung gegen Außenlärm erreicht werden kann.

In Tafel 15 sind die Untersuchungsergebnisse für eine Wand aus 24 cm KS-Mauerwerk (einseitig verputzt) angegeben, die ohne zusätzliche Bekleidung ein bewertetes Schalldämm-Maß $R_w = 54$ dB aufweist. Mit den untersuchten Ausführungsvarianten der hinterlüfteten Außenwandbekleidung wurde eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes zwischen 6 und 12 dB erreicht.

Für die Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung im Gebäude wird nur die tragende Schicht aus KS-Mauerwerk berücksichtigt, der Einfluss einer hinterlüfteten Außenwandbekleidung kann vernachlässigt werden.

5.5.6 Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die Dauerhaftigkeit der traditionell eingesetzten metallischen, mineralischen oder organischen Baustoffe kann als bekannt vorausgesetzt werden, Angaben zum Schutz (vornehmlich bezogen auf Metall und Holz) enthält die DIN 18516.

Für den Nachweis der Verwendbarkeit von „neuen“ Bauprodukten für die Bekleidung und Befestigung werden in den Zulassungsverfahren umfassende Untersuchungen zum Einfluss insbesondere von klimatisch bedingten Einwirkungen durchgeführt, so z.B. für Faserzementtafeln nach harmonisierter europäischer Normung.

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen können konkret auf die örtlich gegebenen Beanspruchungen abgestimmt werden, so dass z.B. ein sehr hoher Widerstand gegenüber Stößen mit harten oder weichen Gegenständen oder Perforation gewährleistet werden kann. Vorteilhaft im Hinblick auf die Erhaltung des gewünschten Erscheinungsbildes ist die Möglichkeit, die Bekleidung bei Bedarf wiederholt reinigen zu können. Bezüglich des Schutzes vor Vandalismusschäden, insbesondere in Form von Graffiti, ist in diesem Zusammenhang auf die wirkungsvolle Pro-

phylaxe durch eine gezielte Oberflächenbehandlung und entsprechend auf das diesbezügliche *WTA-Merkblatt* [37] zu verweisen.

Ein weiterer systembedingter Vorteil ist neben der geringen Wartungsintensität die vergleichsweise einfache Demontierbarkeit, sei es zum Austausch von einzelnen Bekleidungselementen oder im Hinblick auf die im Sinne eines angestrebten „Lifecycle“ perspektivisch steigenden Anforderungen an die Baustofftrennung in der Phase eines zukünftigen Rückbaus und die anschließende Wiederverwendung.

5.5.7 Gestaltung

Die großen Gestaltungsmöglichkeiten von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen werden durch die Material- und Formvielfalt der Bekleidungselemente und ihrer Befestigung bestimmt. Zunehmend werden auch Kombinationen mit Wärmedämm-Verbundsystemen oder mit zweischaligem Mauerwerk eingesetzt.

Als Systemlösung bieten hinterlüftete Außenwandbekleidungen die Möglichkeit, andere Elemente in der Fassade zu integrieren. So können z.B. Photovoltaik- oder Solarthermie-Module eingefügt werden, wenn die Verwendbarkeit als großformatiges Bekleidungselement durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (oder durch eine Zustimmung im Einzelfall) nachgewiesen wird. Darüber hinaus können auch nicht sichtbare Blitzschutzeinrichtungen (unter Nutzung der vorhandenen Metall-Unterkonstruktion) ausgeführt werden [38].

6. KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung

6.1 Konstruktionsübersicht

Bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen oder Bauwerken ohne Anforderungen an den Wärmeschutz können Außenwände aus KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung eingesetzt werden:

- Einschaliges KS-Mauerwerk mit Außenputz
- Einschaliges KS-Verblendmauerwerk
- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Luftschicht

6.2 Eigenschaften

Für *verputztes einschaliges KS-Mauerwerk* können Kalksandsteine ohne besondere Anforderungen an den Frostwiderstand verwendet werden, da der Witterungsschutz durch den Außenputz erfüllt wird. Der Außenputz ist dabei primär auf die nach DIN 4108-3 definierte Schlagregenbeanspruchung einzustellen.

Bei *einschaligem KS-Verblendmauerwerk* (Bild 48) wird der Witterungsschutz durch die außen liegende Steinreihe aus frostwiderstandsfähigen KS-Verblendern und die Schalenfuge bestimmt. Nach DIN EN 1996-1-1 muss jede Mauerschicht min-

destens zwei Steinreihen gleicher Höhe aufweisen, zwischen denen eine durchgehende und schichtweise versetzte Längsfuge (Schalenfuge) verläuft. Die Längsfuge ist ebenso wie die Lager- und Stoßfugen kraftschlüssig und hohlraumfrei zu vermörteln, die Dicke sollte im Hinblick auf den Witterungsschutz entsprechend den vormaligen Bestimmungen der DIN 1053-1 20 mm betragen. Die Mindestwanddicke richtet sich nach der Schlagregenbeanspruchung gemäß DIN 4108-3 und beträgt 310 mm bei geringer Beanspruchung bzw. 375 mm bei mittlerer Beanspruchung. Für eine hohe Beanspruchung wird einschaliges Sichtmauerwerk nicht als Beispiel in der DIN 4108-3 aufgeführt.

Bei einschaligem Verblendmauerwerk gehört die Verblendung zum tragenden Querschnitt. Nach DIN EN 1996-1-1 ergibt sich der Tragwiderstand aus der im Querschnitt verwendeten niedrigsten Steindruckfestigkeitsklasse.

Die Verfugung ist auch hier gemäß Abschnitt 3.4.5 als Fugenglattstrich (oder als nachträgliche Verfugung) kantenbündig mit der Oberfläche der KS-Verblender auszuführen.

Bei hohen Anforderungen insbesondere an den Witterungsschutz kann *zweischaliges KS-Mauerwerk mit Luftschicht* (ohne Wärmedämmung und in der Regel mit KS-Verblendschale) verwendet werden. Im Hinblick auf die Eigenschaften und die



6.3 Anwendungsbereiche

6.3.1 Wirtschaftsbauten

Für Wirtschaftsbauten wie Industriehallen, Werkstattgebäude usw. eignen sich Kalksandsteine besonders gut (Tafel 16). Kalksandsteine sind

- robust, dauerhaft beständig und mit harter Oberfläche widerstandsfähig auch gegen mechanische Beanspruchungen im Industriebereich,
- wegen ihrer hohen Steindruckfestigkeitsklassen von üblicherweise 12 oder 20 für hochbelastbares Mauerwerk geeignet,
- wegen ihrer hohen Maßgenauigkeit und ihrer planebenen Oberflächen für sichtbar bleibendes Mauerwerk außen und innen anwendbar,
- nicht brennbar – Baustoffklasse A nach DIN 4102 bzw. europäische Klasse A1 oder A2-s₁,d₀ nach DIN EN 13501-1 – und erfüllen damit auch hohe Brandschutzanforderungen in wirtschaftlichen Wanddicken und sind
- hoch schalldämmend bei hohen Steindruckfestigkeitsklassen (z.B. RDK 2,0).

6.3.2 Landwirtschaftliche Bauten

Wände von Ställen (und in geringerem Umfang auch von anderen landwirtschaftlichen Bauten) unterliegen erheblichen Anforderungen hinsichtlich ihrer Belastbarkeit und Dauerhaftigkeit.

Mechanische Belastbarkeit

Der starke Bewegungsdrang der Tiere setzt mechanisch belastbare Baustoffe voraus, die in der Lage sind, statische und insbesondere dynamische Beanspruchungen aufzunehmen. Das betrifft zum Beispiel Schweineställe oder Pferdeställe, in denen die Wandflächen durch größere harte Stöße, z.B. durch Hufschlag, punktuell hoch beansprucht werden.

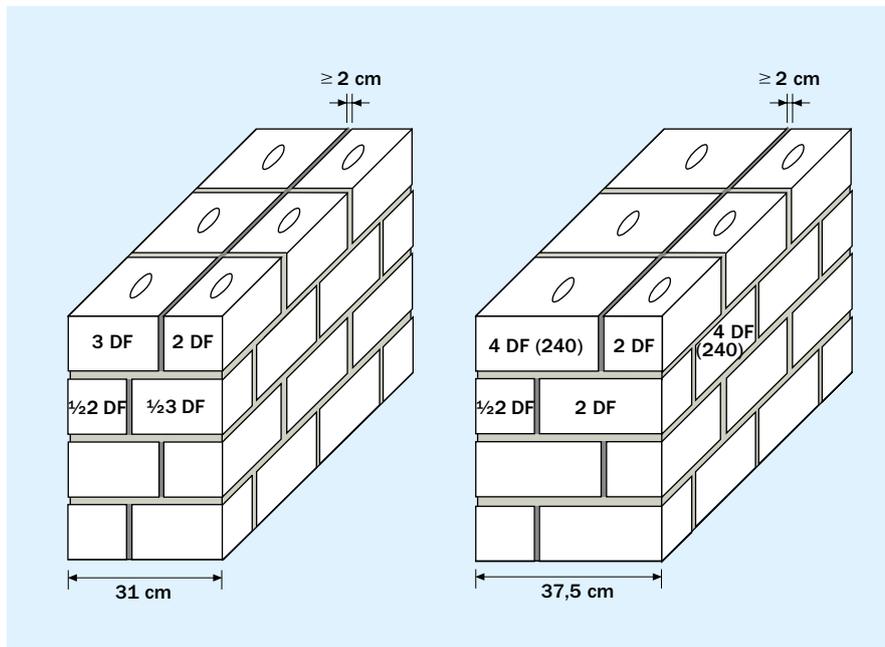


Bild 48 Ausführungsbeispiele für einschaliges Verblendmauerwerk

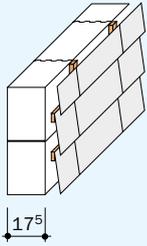
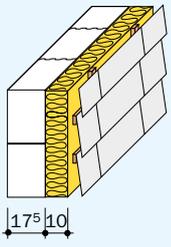
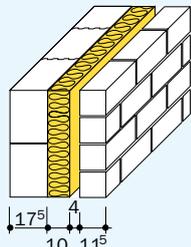
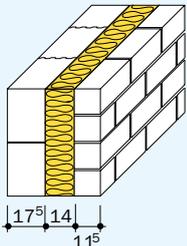
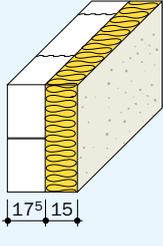
konstruktive Ausbildung ist mit Ausnahme der Wärmedämmung auf die Ausführungen in Abschnitt 3 zu verweisen.

Da Sichtmauerwerk und sichtbar bleibendes Mauerwerk keine Industrieprodukte sind, liegt der optische Reiz in der handwerksgerechten Verarbeitung. Nicht die Beschaffenheit der einzelnen Steine entscheidet, sondern die ästhetische Gesamtwirkung der Fläche. Die Anforderungen an das Erscheinungsbild sind deshalb vom Planer eindeutig zu definieren.

Diesen Anforderungen werden Wände aus KS-Mauerwerk durch ihre hohe Festigkeit in hohem Maße gerecht. Aufgrund der glatten Oberflächen der Kalksandsteine sind zudem Verletzungen der Tiere, die bei rauer Oberfläche auftreten können, nicht zu erwarten.

Glatt verputztes KS-Mauerwerk bietet hervorragenden Schutz vor Ankauen bzw. Befressen durch alle Tiere, insbesondere Rinder, Pferde und Schweine.

Tafel 16 KS-Außenwandkonstruktionen für Wirtschaftsbauten, Beispiele

	Konstruktion	Anwendungsbereich
	<p>Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Bekleidung</p> <p>innen: KS-Sichtmauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt außen: hinterlüftete Bekleidung</p> <p>$U = 2,39 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Unbeheizte Gebäude, z.B. landwirtschaftliche Gebäude mit Außenklimabedingungen, die Fassadenbekleidung aus Holzschindeln, Faserzementplatten, Leichtmetallplatten o.Ä. bietet viele Möglichkeiten einer modernen Fassadengestaltung.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz
	<p>Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Bekleidung und Wärmedämmung</p> <p>innen: KS-Sichtmauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt Dämmschicht $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ außen: hinterlüftete Bekleidung</p> <p>$U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Niedrig beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Werkstattgebäude, Produktionsstätten, Verkaufsmärkte</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz
	<p>Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht</p> <p>innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt Dämmschicht $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ Luftschicht $\geq 4 \text{ cm}$ (stark belüftet) außen: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern (RDK 2,0), imprägniert</p> <p>$U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Niedrig beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Werkstattgebäude, Produktionsstätten, Verkaufsmärkte</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz ■ Robuste Wandoberflächen
	<p>Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung</p> <p>innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), verputzt Dämmschicht $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ außen: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern (RDK 2,0), imprägniert</p> <p>$U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Gebäude mit hohen Innentemperaturen, vorzugsweise Büro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Gebäude mit hohen Innentemperaturen (z.B. Schweineställe)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hoher Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz ■ Robuste Wandoberflächen
	<p>Einschalige KS-Außenwand mit WDVS</p> <p>innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), verputzt außen: WDVS mit Putzbeschichtung $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$</p> <p>$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Gebäude mit hohen Innentemperaturen, vorzugsweise Büro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Gebäude mit hohen Innentemperaturen (z.B. Schweineställe)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hoher Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz

Beständigkeit bei der Reinigung und Verwendbarkeit von Anstrichen und Beschichtungen

Von großer Bedeutung für die Tierhaltung ist die Stallhygiene sowohl durch ein gutes Stallklima als auch durch die erforderliche Reinhaltung. Stetig wiederkehrende Reinigung und Desinfektion sind ausschlaggebend für die Gesundheit der Tiere. Hierfür sind glatte Wandflächen notwendig, die auch einer wiederholten Einwirkung von Wasser und Desinfektionsmitteln ohne Schäden widerstehen und unempfindlich sind gegen die ständige Belastung durch die in der Stallluft enthaltenen Gase (NH_3 , H_2S , CO_2) in Verbindung mit Staub oder hoher (Luft-) Feuchte.

Das KS-Mauerwerk ist ein hervorragend geeigneter Untergrund für Anstriche, Beschichtungen oder Fliesen. Die Wände sind so leichter zu reinigen und zu desinfizieren. Bei Anstrichen müssen die Fugenbereiche zwischen den Steinen sauber ausgebildet und glatt gestrichen sein. Zur besseren Reinigung können unverputzte Kalksandsteinwände auch mit einem elastischen Abdichtungssystem versehen werden. Verschiedene Hersteller von bauchemischen Produkten bieten hier erprobte Lösungen an.

In Schweineställen sollten die Wände stets bis zu einer Höhe von ca. 1,25 m durch Anstriche oder Beschichtungen geschützt werden. Die Stoffe müssen toxisch unbedenklich sein. Das ist durch Prüfzeugnisse der Hersteller nachzuweisen. Bei der Reinigung der Wände ist darauf zu achten, dass Anstriche bzw. Beschichtungen nicht in Folge ungeeigneter Düsenstellung oder eines zu hohen Drucks des Hochdruckreinigers abgelöst werden.

Chemische Beständigkeit

In umfangreichen praxisnahen Untersuchungen der Kalksandsteinindustrie wurde die hohe Beständigkeit von Kalksandsteinen gegenüber Düngemitteln und aggressiven Medien nachgewiesen, wie sie in der Landwirtschaft vorkommen. Die Ergebnisse stimmen mit den Erfahrungen aus dem jahrzehntelangen Praxiseinsatz von KS-Wänden in der Landwirtschaft sehr gut überein. So ist KS-Mauerwerk weitgehend beständig gegen Gülle, z.B. aus der Schweinemast.

Stallklima

Das Klima in geschlossenen Ställen mit steuerbaren raumklimatischen Anlagen – Schweineställe für Mast und Ferkelaufzucht, Geflügelställe für Mast und Eierproduktion – wird durch eine Reihe von Einflussfaktoren bestimmt, u.a. durch:

- Temperatur und relative Feuchte der Außen- und Innenluft
- Wärmeleistung und Wasserdampfabgabe der Tiere
- Regelung der Lüftung
- Wärmeschutz der Außenwände und des Daches

Schwere Wände aus KS-Mauerwerk haben einen stabilisierenden Einfluss auf das Raumklima und dämpfen Wärme- und Feuchteschwankungen. Das ist besonders im Sommer von Bedeutung: Die hohe Wärmespeicherefähigkeit wirkt wie eine natürliche Klimaanlage.

Für Stallgebäude mit hohen relativen Luftfeuchten im Innern sind hochgedämmte KS-Außenwandkonstruktionen (einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem oder hinterlüfteter Außenwandbekleidung sowie zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung) besonders geeignet.

Brandschutz von Ställen

Der Brandschutz spielt bei landwirtschaftlichen Bauten eine große Rolle, zumal die Tiere selbst im Brandfall ihre gewohnte Umgebung nicht verlassen. Die Kalksandsteine sind nicht brennbar und sind der Baustoffklasse A1 nach DIN 4102 bzw. der europäischen Klasse A1 oder A2-s₁,d₀ nach DIN EN 13501-1 zuzuordnen. Damit bieten KS-Wände mit hoher Feuerwiderstandsklasse den notwendig hohen Brandschutz.

Anforderungen bei der Lagerung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten

Bei der Lagerung und dem Umschlagen von landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Jauche, Gülle und Silagesickersäften sind u.a. die Vorgaben der folgenden Regelungen einzuhalten:

- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) [39]
- Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) [40] und die diesbezüglichen Verwaltungs- und Ausführungsvorschriften der Bundesländer

Gemäß den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes müssen Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesickersäften (JGS-Anlagen) so beschaffen sein, dass der bestmögliche Schutz der Gewässer vor Verunreinigung oder sonstiger nachteiliger Veränderung ihrer Eigenschaften erreicht wird. Dies gilt für den Bau und die Unterhaltung dieser Anlagen gleichermaßen.

Grundsätzlich ist in Bereichen, die im Geltungsbereich des WHG liegen, die Abdichtung von KS-Mauerwerk mit geeigneten bauchemischen Produkten erforderlich.



Bild 49 Rohbau eines Maststalls

7. Frei stehende KS-Wände

Frei stehende Wände werden weder seitlich durch Querwände oder Stützen, noch oben durch anschließende Decken- oder Ringbalken gehalten. Dies trifft z.B. für Einfriedungen und Brüstungen zu.

7.1 Standsicherheit

Die Ermittlung der Eigen- und Horizontallasten erfolgt gemäß DIN EN 1991-1-1/NA [41] und DIN EN 1991-1-4/NA [42]. Für die Windlastannahmen sind die Windlastzone, die Geländekategorie und die Höhenlage der Bauteile über Gelände zu beachten.

Ohne Aussteifung und ohne Auflast ergibt sich nach [43] bei Verwendung von KS-Blocksteinen (Steinrohrichteklasse 2,0) mit einer Schichtmaßhöhe 25 cm exemplarisch für die Windlastzone 2 die folgende zulässige – und in der Regel wenig praktische – Anzahl von Steinschichten:

- Wanddicke 17,5 cm: 1 Steinschicht
- Wanddicke 24 cm: 2 Steinschichten
- Wanddicke 30 cm: 3 Steinschichten
- Wanddicke 36,5 cm: 5 Steinschichten

Die Angaben gelten für eine Kronenhöhe der Wände bis zu maximal 8 m über Geländeoberkante.

Sollen frei stehende Mauerwerkswände höher gemauert werden, sind diese Wände durch Pfeiler und ggf. zusätzlich durch biegesteife Querriegel auszusteifen. Ohne Riegel gilt die Wand als dreiseitig gehalten. Mit einem zusätzlichen biegesteifen Querriegel als Wandkrone kann von einer vierseitigen Halterung ausgegangen werden. Zur Aussteifung eignen sich Stahlprofile oder Stahlbetonpfeiler. Damit werden die in Tafel 17 angegebenen Wandhöhen ausführbar.



Bild 50 Frei stehende KS-Wand mit Aussteifungen

7.2 Gebrauchstauglichkeit

Zur Minimierung der Rissgefährdung aus hygrothermischer Zwangsbeanspruchung sollten die Einzelwandlängen frei stehender Wände (ohne zusätzliche Aussteifung) 6 bis 8 m nicht überschreiten.

7.3 Witterungsschutz

Für unverputzte frei stehende Wände sind KS-Verblender zu wählen.

Frei stehende Wände müssen an der Mauerkrone gegen Regenwasser geschützt werden. Hierfür eignen sich Natursteinplatten, Mauerabdeckungen aus vorgefertigten Aluminiumprofilen, Betonfertigteile, Dachziegel etc. Dabei ist auf einen ausreichenden Überstand sowie die Ausbildung von Abtropfkanten (Bild 50) zu achten.

Rollschichten aus Mauerwerk haben sich als obere Abdeckung von frei stehenden Wänden nicht bewährt, da insbesondere der Fugenmörtel durch die starke Regenbeanspruchung in der Dauerhaftigkeit gefährdet ist.

Tafel 17 Aussteifung frei stehender Wände aus KS mit bzw. ohne oberem Querriegel bei einer Höhe über Gelände von 0 bis 8 m¹⁾

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 oberem 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



Literatur

- [1] ARGEBAU (Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Bundesländer): Musterbauordnung (MBO) von November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Baumministerkonferenz vom 30.05.2016
- [2] DIN EN 1996: Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten (4 Teile: DIN EN 1996-1-1:2013-02, DIN EN 1996-1-2:2011-04, DIN EN 1996-2:2010-12, DIN EN 1996-3:2010-12 mit jeweils Nationalem Anhang NA)
- [3] DIN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten (6 Teile: DIN EN 13501-1:2010-01 bis DIN EN 13501-6:2014-07)
- [4] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (17 Teile: DIN 4102-1:1998-05 bis DIN 4102-5:1977-09, DIN 4102-7:1998-07 bis DIN 4102-9:1990-05, DIN 4102-11:1985-12 bis DIN 4102-18:1991-03, DIN 4102-20:2017-10)
- [5] Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), August 2017
- [6] DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden (6 Teile und Beiblatt: DIN 4108-2:2013-02 bis DIN 4108-4:2017-03, DIN 4108-7:2011-01, DIN 4108-10:2015-12, DIN 4108-11:2017-10 Entwurf, DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03)
- [7] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24.07.2007, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 24.10.2015
- [8] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Wärmebrückenkatalog (kostenfreier Download unter www.ks-waermebruecken.de)
- [9] Kück, U.; Nowrousian, M.; Hoff, B.; Engh, I.: Schimmelpilze – Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2009
- [10] Umweltbundesamt (Hrsg.): Schimmel im Haus – Ursachen, Wirkungen, Abhilfe. Berlin 2014
- [11] Deutsche Energie Agentur (Hrsg.): Gesund Wohnen. Gut gelüftet. Schlaue geheizt. Berlin 2015
- [12] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau (9 Teile und 2 Beiblätter: DIN 4109-1:2016-07, DIN 4109-2:2016-07, DIN 4109-4:2016-07, DIN 4109-31:2016-07 bis DIN 4109-36:2016-07, DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11, DIN 4109 Beiblatt 3:1996-06)
- [13] Klaas, H.; Schulz, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. 2. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2002 (Reihe: Schadenfreies Bauen – Band 13)
- [14] Vogdt, F. U.; Bredemeyer, J.; Keßlau, H. (TU Berlin): Punktförmige Wärmebrücken bei Verblendmauerwerk – Einflüsse, Auswirkungen und energetische Optimierung. – In: Mauerwerk, Heft 6/13, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [15] Schubert, P.: Verformung und Rissesicherheit. – In: KALKSANDSTEIN – Planung, Konstruktion, Ausführung, 6. Auflage, 2014
- [16] Kasten, D.; Schubert, P.: Verblendschalen aus Kalksandsteinen – Beanspruchung, rissfreie Wandlänge, Hinweise zur Ausführung. – In: Bautechnik 62 (1985), Nr. 3, S. 86–94
- [17] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkswänden. – In: Mauerwerk-Kalender 13, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988, S. 473–488
- [18] Schubert, P.: Formänderungen von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk. – In: Mauerwerk-Kalender 17, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1992, S. 623–637
- [19] Schubert, P.: Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerksbauten. – In: Mauerwerk-Kalender 21, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1996, S. 621–651
- [20] DIN 18533 Abdichtung von erdberührten Bauteilen (3 Teile: DIN 18533-1:2017-07, DIN 18533-2:2017-07 und DIN 18533-3:2017-07)

- [21] Deutsche Bauchemie e.V.: Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (KMB) – erdberührte Bauteile – 3. Ausgabe, 2010
- [22] Cziesielski, E.; Vogdt, F. U.: Schäden am Wärmedämm-Verbundsystemen. 2. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2007 (Reihe: Schadenfreies Bauen – Band 20)
- [23] FIW – Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe (Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen) vom 29.11.2013
- [24] Fraunhofer Institut für Bauphysik: Künzel, H.; Krus, M.; Lengsfeld, K.: Beurteilung der Langzeitbewährung von ausgeführten Wärmedämmverbundsystemen, IBP-Bericht HTB-06/2015, Februar 2015
- [25] EU-Verordnung Nr. 305/2011 (Bauproduktenverordnung – BauPVO) vom 09.03.2011
- [26] ETAG 004 (European Technical Approval Guideline): Leitlinie für die europäische technische Zulassung für außen-seitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht, Februar 2013
- [27] DIN EN 13163:2017-02: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) – Spezifikation
- [28] DIN EN 13162:2015-04: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation
- [29] Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.: Technische Systeminformationen – Kompendium WDVS und Brandschutz, 2016
- [30] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Schallschutzrechner (kostenfreier Download unter www.kalksandstein.de)
- [31] Industrieverband WerkMörtel e.V.: Merkblatt – Total Solar Reflectance, 2014
- [32] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Detailsammlung (kostenfreier Download unter www.kalksandstein.de)
- [33] DIN 18516: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet (4 Teile: DIN 18516-1:2010-06, DIN 18516-3:2013-09 bis DIN 18516-5:2013-09)
- [34] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V.: Richtlinie – Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, 1998
- [35] Cziesielski, E.; Schrepfer, T.: Hinterlüftete Außenwandkonstruktionen und Wärmedämmverbundsysteme. – In: Betonkalender 1998, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998
- [36] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V.: FVHF-Focus Nr. 4: Die Schalldämmung mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden
- [37] WTA Merkblatt 2-5-97 D: Anti-Graffiti-Systeme, 1998
- [38] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V.: FVHF-Focus Nr. 14: Hochwirksamer Gebäudeblitzschutz mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden
- [39] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31.07.2009, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18.07.2017
- [40] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAWS) vom 18.04.2017
- [41] DIN EN 1991-1-1:2010-12 mit Nationalem Anhang NA: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [42] DIN EN 1991-1-4:2010-12 mit Nationalem Anhang NA: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Windlasten
- [43] Graubner, C.A.; Schmitt, M.: Tragverhalten freistehender windbeanspruchter Mauerwerkswände aus Kalksandstein nach DIN EN 1996/NA; Gutachten 120243 von 06/2013

Bildnachweise

Bild S. 36, Bild S. 37 unten: Csaba Mester; **Bild S. 41:** Walter Graf;
Bild S. 47 unten: Architekten Spiekermann/Frank Vinken/KS-ORIGINAL;
Bild 15, Bild 16: Halfen; **Bild S. 79:** Andreas Friese

Bild S. 37 oben, Bild S. 43, Bild 7, Bild 11, Bild 23, Bild S. 65, Bild S. 68, Bild S. 75, Bild 49, Bild 50: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.