

Zweischaliges Mauerwerk - mit oder ohne Belüftung?

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Dr. E. h. mult. Karl Gertis zu seinem 60. Geburtstag gewidmet
Helmut Künzel

Bei zweischaligem Mauerwerk wird heute in der Regel eine Dämmung zwischen die beiden Schalen eingebracht. Eine Unsicherheit besteht in der Praxis darüber, ob der Zwischenraum voll mit Dämmung ausgefüllt werden darf (Kerndämmung) oder ob zur Sicherheit noch ein Luftspalt von 4 cm verbleiben soll. Es ergibt sich somit die gleiche Fragestellung wie bei der Zwischensparrendämmung von ausgebauten Dachgeschossen. Auch anderen aktuellen Fragen zur Belüftung und zum Verputzen wird im folgenden nachgegangen.

1. Einleitung und Übersicht

Zweischaliges Sichtmauerwerk ist auch bei starker Schlagregenbeanspruchung eine regensichere Wandkonstruktion. Die Luftschicht zwischen der Vormauerschale und der Hintermauerschale wirkt bei richtiger Anordnung der Verbindungsanker als absolute Sperrschicht für Regenfeuchte. Der Regenschutz war zunächst der alleinige Gesichtspunkt bei der Entwicklung dieser Wandkonstruktion. Dass dieser Luftzwischenraum heute zur Erzielung eines höheren Wärmeschutzes mit Dämmstoff ausgefüllt wird, ist naheliegend. In früheren Ausgaben der DIN 1053 wurde dies bereits berücksichtigt, indem eine Dämmschicht auf der Außenseite der Innenschale zugelassen worden ist unter Beibehaltung einer Luftschicht von mindestens 4 cm ohne Anforderungen an die Eigenschaften des Dämmstoffes.

Normabschnitt	Bauart	Anforderungen zum Feuchteschutz
8.4.3.2	Zweischalige Außenwände mit Luftschicht	Luftschicht mindestens 60 mm Unten und oben Lüftungsöffnungen (jeweils 7500 mm ² auf 20 m ²) Untere Öffnungen gleichzeitig zur Entwässerung
8.4.3.3	Zweischalige Außenwände mit Luftschicht und Wärmedämmung	Luftschicht mindestens 40 mm Unten und oben Lüftungsöffnungen (jeweils 7500 mm ² auf 20 m ²) Untere Öffnungen gleichzeitig zur Entwässerung Keine Anforderungen an Dämmstoffe
8.4.3.4	Zweischalige Außenwände mit Kerndämmung	Keine Luftschicht und Lüftungsöffnungen Entwässerungsöffnungen im Fußpunktbereich der Außenschale (5000 mm ² auf 20m ²) Dämmstoffe müssen dauerhaft wasserabweisend sein (genormt oder zugelassen)
8.4.3.5	Zweischalige Außenwände mit Putzschicht	geschlossene Putzschicht auf der Außenseite der Innenschale mit Fingerspalt zur Verblendschale oder verputzte Außenschale Keine Lüftungsöffnungen Entwässerungsöffnungen im Fußpunktbereich der Außenschale (7500 mm ² auf 20 m ²)

Tab. 1: Zweischalige Wandbauarten nach DIN 1053-1 (1996) mit Anforderungen hinsichtlich des Feuchteschutzes.

Man ging davon aus, dass eine Luftschicht von 4 cm auch im ungünstigsten Fall - z. B. ausquellender Mauermörtel - eine ausreichende Sperrschicht darstellt. Das gänzliche Ausfüllen der Luftschicht mit Dämmstoff ist dann zulässig, wenn die Eignung

Dr.-Ing. Helmut Künzel, bis 1991 stellv. Leiter der Freilandversuchsstelle des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, D-83601 Holzkirchen (Dir.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Dr. E. h. mult. Karl Gertis)

des Dämmstoffes dafür nachgewiesen ist. Wenn der Dämmstoff kein Wasser in flüssiger Form aufnimmt, dann wirkt dieser in gleicher Weise als Sperrschicht wie eine Luftschicht. Dies wurde durch umfangreiche Untersuchungen nachgewiesen [1], die in Abschnitt 2 zusammengefasst dargestellt werden.

Andere Entwicklungen zur Erzielung regensicherer Sichtmauerwerks erfolgten in Verbindung mit Putzschichten. Anstatt den Putz außen aufzubringen, wurde er zwischen die beiden Mauerschalen "eingefüllt", die mit einem Abstand von etwa 2 cm auf gemauert worden sind (Schalenfuge). Es war aber praktisch nicht sicher möglich, diesen Spalt hohlraumfrei mit Mörtel auszufüllen und damit war der Regenschutz nicht gewährleistet [2]. Diese Ausführungsvariante ist deshalb in der geltenden DIN 1053 nicht mehr enthalten. Es ist dort aber die Möglichkeit aufgeführt, die Putzschicht auf der Außenseite der Innenschale (vor dem Aufmauern der Außenschale) oder direkt auf der Außenschale aufzubringen (unter Verzicht auf Sichtmauerwerk).

Die in der derzeitigen DIN 1053 [3] genormten Ausführungsarten zweischaligen Mauerwerks sind mit stichwortartigen Angaben über die wesentlichen Anforderungen an den Feuchteschutz in Tabelle 1 aufgeführt. Zu den Anforderungen werden im folgenden Aussagen auf Grund des wissenschaftlichen Kenntnisstandes gemacht und sodann zu den praktischen Erfahrungen mit den verschiedenen Varianten Stellung genommen.

2. Wissenschaftlicher Kenntnisstand

2.1 Regenschutz

Der Regenschutz des zweischaligen Mauerwerks funktioniert nach dem Prinzip der zweistufigen Dichtung. Die Vormauerschale dient als Regensperre; sie nimmt Regenwasser auf bis zur Sättigung. Der Hintermauerschale kommt die Funktion der Windsperre zu, sie soll winddicht sein, z. B. durch einen durchgehenden Innenputz. Da die unverputzte Vormauerschale wegen der Mörtelfugen mehr oder weniger winddurchlässig ist, baut sich kein nennenswertes Staudruckgefälle in der Vormauerschale auf, das Luftströmungen mit Wassermitführung nach innen zur Folge haben kann. Die an der Vormauerschale rückseitig ablaufende Regenwassermenge ist daher gering, nämlich nach Messungen 1-5 % der außen auftreffenden Regenmenge, je nach der von der Wasseraufnahmefähigkeit der Vormauerschale abhängigen "Pufferwirkung". Diese geringe Regenmenge stellt keine besondere Belastung für den Dämmstoff bei Kerndämmung dar. Deshalb wurde z. B. bei den eingehenden Untersuchungen [1] praktisch kein Unterschied in der Dämmstofffeuchte von hydrophobierter und nicht hydrophobierter Mineralwolle bei sonst gleichen Bedingungen festgestellt. Die Anforderungen an die Dämmstoffe für Kerndämmung nach Zulassung bzw. Norm bieten daher eine gute Sicherheit dafür, dass die Dämmschicht in gleicher Weise wie eine durchgehende Luftschicht als Sperre für Regenwasser wirkt.

2.2 Wohnfeuchte

Infolge der Feuchteproduktion beim Wohnen ist die absolute Luftfeuchte (Wasserdampf-Partialdruck) der Raumluft im allgemeinen - insbesondere im Winter - höher als diejenige der Außenluft. Der Feuchtetransport durch die Wand nach außen erfolgt im Mauerwerk hauptsächlich durch Kapillarleitung und durch die Luftschicht bzw. den Kerndämmstoff durch Dampfdiffusion. In beiden Fällen - bei Luftschicht oder bei Kern-

dämmung - schlägt sich der durchdiffundierte Wasserdampf unter winterlichen Klimabedingungen an der Rückseite der Vormauerschale als Tauwasser nieder. Dieses Wasser wird entweder von der Vormauerschale aufgesaugt und kapillar nach außen transportiert oder es läuft bei gesinterten oder glasierten Steinen ab und wird nur vom Fugenmörtel aufgenommen. Der Transport von Tauwasser von innen nach außen erfolgt somit in gleicher Weise wie der Transport von Regenwasser von außen nach innen, nur dass es sich dabei um Mengen handelt, die um Größenordnungen geringer sind als beim Regenwasser. Die Dampfdurchlässigkeit der Außenschale hat dabei keinen Einfluss. Die Formulierung in Abschnitt 8.4.3.4 der Ausgabe 1990 der DIN 1053:

"Für die Außenschale sind keine glasierten Steine oder Steine bzw. Beschichtungen mit vergleichbar hoher Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl zulässig."

ist daher unbegründet und wurde in die Neuausgabe 1996 nicht übernommen.

2.3 Belüftung

Die Belüftung der Luftschicht zwischen den beiden Mauerschalen gemäß DIN 1053 hat eher nachteilige Auswirkungen, wie Untersuchungsergebnisse zeigen.

Durch die Belüftung wird der Wärmeschutz gemindert, da die Luftschicht nicht ruhend, sondern mit der Außenluft in Verbindung ist. Dies geht aus den in Bild 1 aufgezeichneten Messergebnissen hervor, die beispielhaft die Wärmeströme bei zweischaligen Wänden mit Kerndämmung bzw. Dämmung mit Luft-

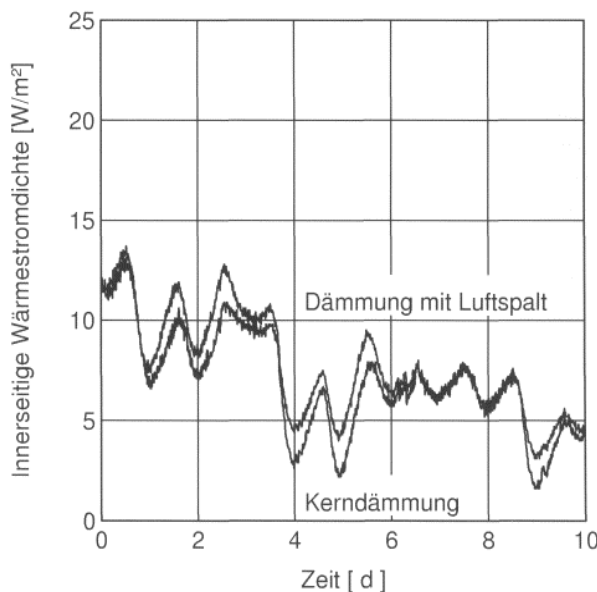


Bild 1: Gemessene Wärmeströme bei zweischaligem Ziegelmauerwerk mit Dämmung und Luftspalt bzw. Kerndämmung im Verlauf von 10 Tagen bei winterlichen Bedingungen nach [4] (Geschoßhohe Wände, Orientierung nach Süden, Belüftung und Entwässerung nach DIN 1053-1). Mauerwerk in beiden Fällen: 17,5 cm Hochlochziegel-Mauerwerk mit 11,5 cm Klinker-Vormauerschale, 5 cm Mineralwolle und 4 cm Luftschicht bzw. nur 5 cm Mineralwolle bei Kerndämmung.

schicht über 10 Tage bei winterlichen Bedingungen darstellen. Die Erhöhung des k-Wertes durch die Belüftung, gemittelt über eine Winterperiode, betrug im vorliegenden Fall rund 5 % (bei 5 cm Dämmschicht). Dies ist nicht viel und macht es verständlich, dass dadurch kein merklicher Einfluss auf die Temperaturverhältnisse festzustellen ist, wie Bild 2 zeigt. Die Dämm-

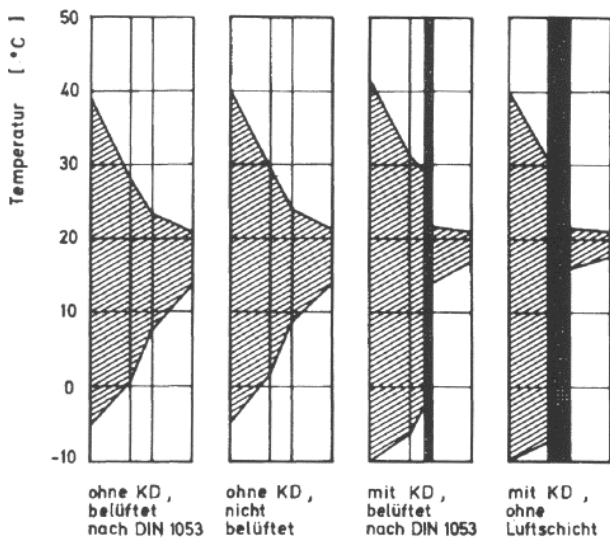


Bild 2: Gemessene extreme Temperaturverteilungen in zweischaligen Wänden auf dem Freigelände Holzkirchen ohne und mit Kerndämmung sowie ohne und mit Belüftung im Verlauf eines Jahres. In den angegebenen schraffierten Bereichen bewegen sich die Temperaturen zwischen Sommer und Winter [1]. Die Belüftung wirkt sich auf die Temperaturverhältnisse praktisch nicht aus; durch die Kerndämmung wird die winterliche Tiefsttemperatur der Außenschale abgesenkt.

schicht, ob mit oder ohne Luftschicht, hat im übrigen keinen "Wärmestau" zur Folge, sondern nur eine tiefere Absenkung der äußeren Oberflächentemperatur im Winter, wie ebenfalls aus Bild 2 zu entnehmen ist.

Durch die Belüftung ist andererseits eine gewisse Verbesserung der Trocknungsmöglichkeit der Vormauerschale zu erwarten, die allerdings bei berechneten Wänden durch Feuchtezufuhr über die offenen Belüftungs-Stoßfugen mehr oder weniger kompensiert werden kann. Nur so ist es zu erklären, dass bei belüfteten Konstruktionen im Mittel etwas höhere Feuchtegehalte der Vormauerschale gemessen worden sind als bei Kerndämmung, wie Bild 3 zeigt (50 % - Fraktile: 24 Vol.-% bei Belüftung gegenüber 20 Vol.-% ohne Belüftung).

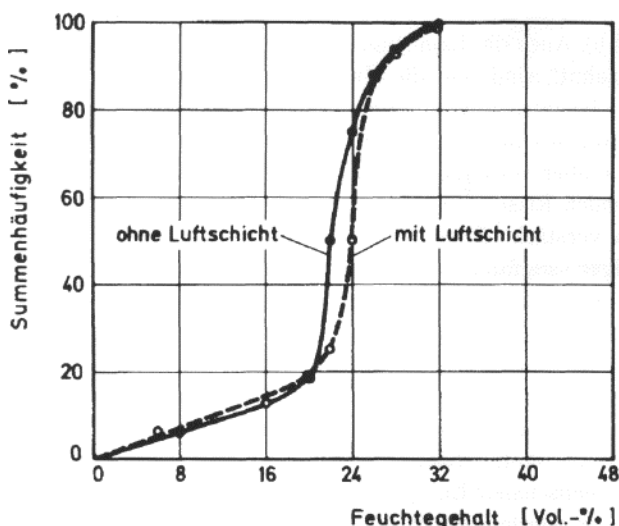


Bild 3: Summenhäufigkeit der Feuchtegehalte, die an Ziegel-Vormauerschalen von nach Westen orientierten Versuchswänden auf dem Freigelände Holzkirchen mit belüfteter Luftschicht und ohne Luftschicht (voll mit Dämmstoff ausgefüllt) im Untersuchungszeitraum an jeweils ca. 100 Wandproben gemessen worden sind [1]. Im Mittel sind die Vormauerschalen bei den belüfteten Konstruktionen um 4 Vol.-% feuchter als bei den nicht belüfteten (24 Vol.-% gegenüber 20 Vol.-%).

2.4 Entwässerung

Die Belüftungsöffnungen am Fußpunkt einer Wandfläche oder einer abgefangenen Teilwandfläche sollen gleichzeitig zur Entwässerung von eingedrunenem und an der Vormauerschale rückseitig ablaufendem Regenwasser dienen. Sie sind deshalb auch dann vorzusehen, wenn - wie bei Kerndämmung - keine Belüftung möglich ist, allerdings in reduziertem Umfang (5000 mm² statt 7500 mm² pro 20 m² Wandfläche). Diese Anforderungen sind wissenschaftlich nicht abgesichert und führen - wie in Abschnitt 3.4 gezeigt wird - zu unsinnigen Detailausführungen.

3. Praktische Erfahrungen

3.1 Nachträgliches Verfüllen des Luftspalts

Die ersten praktischen Erfahrungen wurden an nachträglich kerngedämmten Gebäuden durch Ausschäumen oder Einblasen von wärmedämmenden Flocken oder Granulat gemacht. Eingehende Untersuchungen in Holland, wo die zweischalige Bauart weit verbreitet ist, führten bei der Überprüfung von insgesamt 164 Gebäuden zu durchweg positiven Ergebnissen (Kerndämmung durch UFSchaum, Mineralwolleflocken, Polystyrolperlen, Perlite) [5].

3.2 Dämmen beim Aufmauern

Das Einbringen von platten- oder mattenförmigen Dämmplatten erfolgt beim Aufmauern, indem diese auf die Drahtanker in der Hintermauerschale gesteckt und ggf. durch eine Kunststoffscheibe fixiert werden. Die Dämmplatten werden dabei stumpf gestoßen oder mit Stufenfalz aufeinander gesetzt. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei ausgeschäumter oder eingeblassener Kerndämmung ist in diesem Fall die Dämmschicht nicht durchgehend fugenlos. Bei unsachgemäßer Ausführung können Plattenfugen einen Feuchtedurchgang nach innen ermöglichen, z. B. wenn Mauermörtel zwischen die Platten gelangt oder wenn die Abtreppung beim Stufenfalz nach innen gerichtet ist [2]. Solche Ausführungsfehler können durch eine Wärmedämmung mit Luftschicht kaschiert werden. Andererseits sind aber in diesem Fall wiederum Fehlstellen durch in die Luftschicht einfallenden Mauermörtel nicht auszuschließen, was bei Kerndämmung nicht auftreten kann.

Im Fall der Dämmung durch Platten oder Matten liegen stichprobenartige Ermittlungen über die Verhältnisse in der Praxis - wie bei nachträglicher Kerndämmung in Abschnitt 3.1 - nicht vor. Es sind aber auch keine Fälle bekannt, die auf Schäden bei Kerndämmung dieser Art hinweisen. Bei handwerklich richtiger Ausführung ist keine Situation denkbar, die gegen das volle Ausfüllen der Luftschicht zwischen den beiden Mauerschalen spricht. Andererseits wird durch eine vermeintlich sichere Luftschicht ein zusätzlicher Dämmeffekt von rund $1\Delta = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ "verschenkt".

3.3 Belüftung

Belüftungsöffnungen, die in der Regel durch offene Stoßfugen realisiert werden, widersprechen im Prinzip der Forderung nach vollfugiger Vermauerung. Sind diese nicht im Bereich der Dachtraufe geschützt angeordnet, dann kann über die offenen Fugen Regenwasser eindringen. Wenn dies im allgemeinen nicht zu Schäden führt, dann deshalb, weil das Regenwasser infolge der Pufferwirkung der Vormauerschale "verkräftet" wird. Dass aber dadurch der Feuchtegehalt der Vormauerschale erhöht werden

kann, wurde bereits dargelegt (Bild 3). Die Forderung in der Norm, eine Belüftung auch im Bereich von Brüstungen vorzusehen, kann zu seltsamen Details führen, wie aus Bild 4 zu erkennen ist. Auch die Tatsache, dass bei Kerndämmung eine Belüftung nicht machbar bzw. sinnvoll ist und trotzdem keine Feuchteschäden auftreten, zeigt, dass generell die Forderung nach einer Belüftung zu korrigieren ist.



Bild 4: Belüftungsöffnungen auch im Bereich einer schmalen Brüstung zur Erfüllung der Norm.

3.4 Entwässerung

Die Entwässerung (Drainage) am Fußpunkt einer Wand oder einer Teilwandfläche bei Abfangung ist als eine Sicherheitsmaßnahme anzusehen, die in den seltensten Fällen erforderlich ist. Sonst wären an offenen Drainage-Stoßfugen häufiger Ausfließspuren von Wasser erkennbar, als es in Wirklichkeit der Fall ist.

Solche Entwässerungsöffnungen müssen außerdem am untersten Fußpunkt der Wand angebracht werden und nicht eine Lage höher, wie es oft der Fall ist, um die geforderte Zahl der Quadratmillimeter unterzubringen (Bild 5). Es gibt im übrigen keine Begründung dafür, die Entwässerungsöffnungen auf die Größe der Wandfläche zu beziehen, sinnvoller wäre der Bezug zur



Bild 5: Offene Stoßfugen in zwei Steinlagen als Entwässerungsöffnungen.

Wandlänge, z. B. jede zweite Stoßfuge in der untersten Steinlage offen zu lassen entsprechend etwa $100 \text{ mm}^2/\text{m}$ Wand.

3.5 Vormauerschale mit Außenputz

Eine Vormauerschale von 90 bis 115 mm Dicke hat nicht die Stabilität und Steifigkeit wie eine dickere Wand, die durch ein-

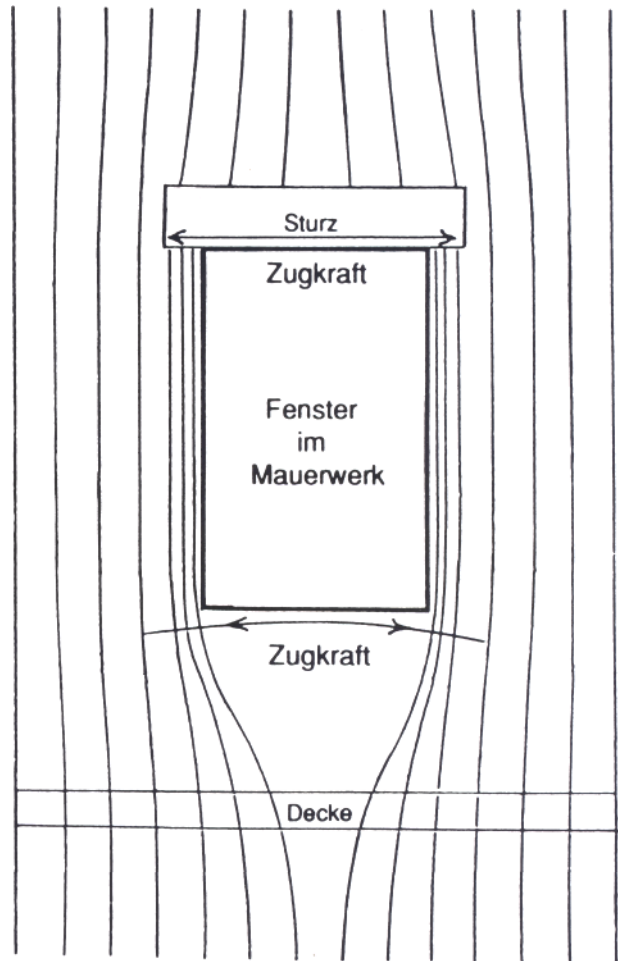


Bild 6: Drucktrajektorien in einer Mauerwerkscheibe mit Fenster nach [6]. Unterhalb des Fensters treten Zugspannungen auf, die zu den bekannten Rissen in der Fensterbrüstung führen können.

gebundene Zwischenwände ausgesteift und durch eine Auflast eingespannt ist. Die vorgeschriebenen Drahtanker bewirken nur eine Absicherung gegen senkrecht auftretende Windkräfte. Öffnungen in der Wand (Fenster) haben hingegen Querkräfte in der Vormauerschale zur Folge, die zu Rissen führen können (Bild 6). Auch die Lagerfugen in der Vormauerschale, die nicht "verzahnt" sind wie die Stoßfugen, sind rissanfällig. Solche Risse beeinträchtigen bei Sichtmauerwerk in der Regel weder den Regenschutz noch das Erscheinungsbild. Ist die Vormauerschale aber verputzt, dann wirken sich die auf den Putz übergehenden Risse nachteilig aus. Über die Putzrisse kann einerseits verstärkt Regenfeuchte eindringen, da der Putz meist weniger saugfähig ist als Sichtmauerwerk, andererseits behindert der Putz die Trocknung. Typische Rissbilder aus diesen Ursachen zeigen die Bilder 7 und 8.

Diese Erfahrungen wurden vor Jahrzehnten schon in der Schweiz gemacht, wo zweischaliges Mauerwerk üblich ist, aber nicht hauptsächlich wegen des Regenschutzes, sondern wegen der Möglichkeit erhöhter Wärmedämmung bei harten Außen- und Innenschalen. Entsprechend den Bauepflogenheiten in der Schweiz werden die Außenschalen dabei meist verputzt. Um schädliche Risse in der Außenschale zu vermeiden, werden diese mindestens in 12 bis 15 cm Dicke ausgeführt und in besonders belasteten Wandbereichen armiert [7]. Ein Beispiel hierfür gibt Bild 9. Entsprechend muss auch bei uns vorgegangen werden, wenn zweischaliges Mauerwerk verputzt werden soll. Die Angaben in DIN 1053-1 sind in diesem Punkt nicht befriedigend.

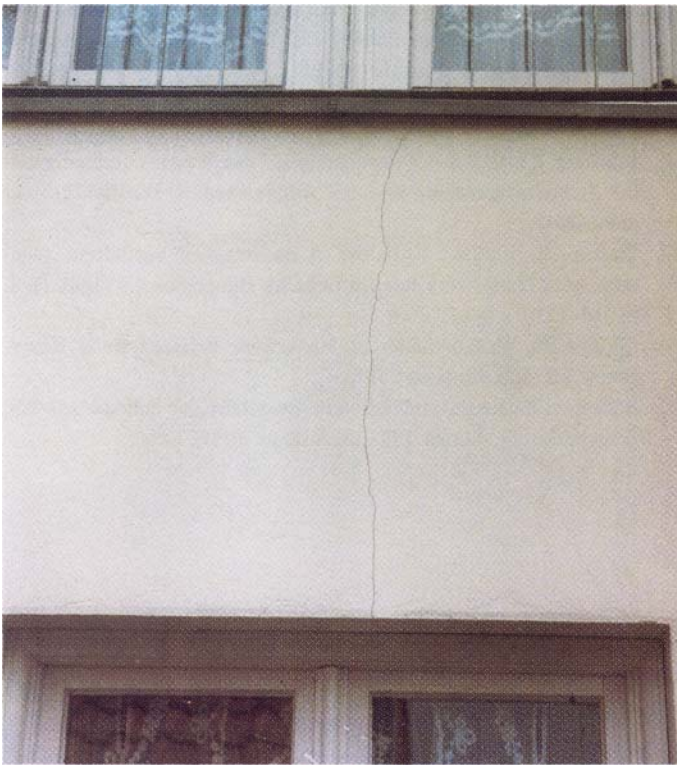


Bild 7: Senkrechter Riss in der verputzten Vormauerschale zweischaligen Mauerwerks (Foto H. Klaas).

Bild 8: Putzrisse längs Lagerfugen in der verputzten Vormauerschale zweischaligen Mauerwerks mit durch Pilzansiedelungen erkennbaren Auslaufspuren von Wasser aus der wassergesättigten Vormauerschale (Außenputz mit Dispersionsanstrich).

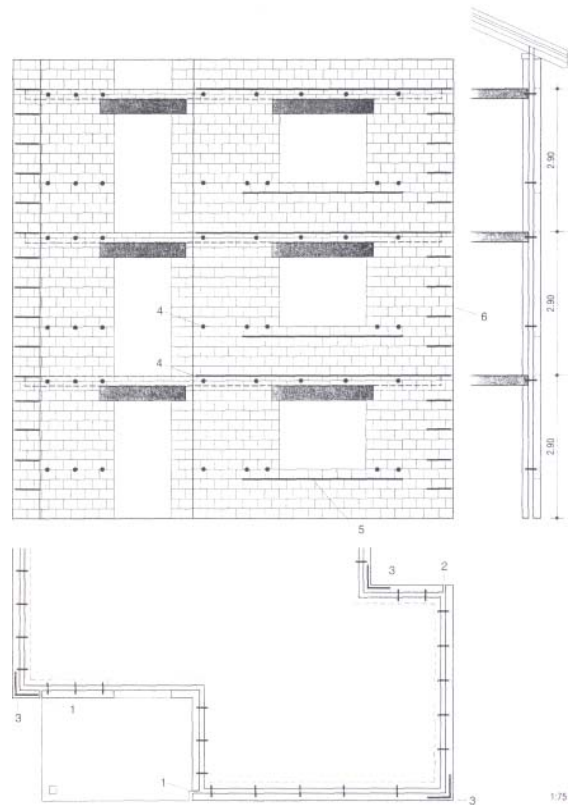


4. Zusammenfassung, Beurteilung und Folgerungen

DIN 1053-1 beschreibt vier Ausführungsvarianten für zweischalige Außenwände:

1. Zweischalige Außenwände mit Luftschicht
2. Zweischalige Außenwände mit Luftschicht und Wärmedämmung
3. Zweischalige Außenwände mit Kerndämmung
4. Zweischalige Außenwände mit Putzschicht

Von diesen Varianten hat die erste nur historische Bedeutung. Niemand wird bei den heutigen Dämmanforderungen noch zweischalige Wände ohne Wärmedämmung ausführen. Die 4. Variante mit Putzschicht hat sich in einen Fall - Putz auf der Außenseite der Innenschale - in der Praxis nicht bewährt und ist im anderen Fall - Außenputz auf Vormauerschale - schadensanfällig. Beide Ausführungsarten können somit in den vorliegenden Formulierungen nicht als "anerkannter Stand der Technik" bezeichnet werden. Im Falle des Verputzens der Vormauerschale sind in der Norm zusätzliche Anforderungen ent-



- | | | | | | |
|---|--|---|--|---|------------------------------|
| 1 | Wandscheiben zwischen den Balkonplatten getrennt | 3 | Durchgemauerte Ecken mit Eckbügel | 5 | Bewehrung unter den Fenstern |
| 2 | Trennung der Außenschale an der Ecke | 4 | Verankerung mit 2 Reihen pro Geschoss, Verankerung einer Reihe in den Decken | 6 | Eckbügel |

Bild 9: Beispiel der Verankerung und Bewehrung einer Außenschale bei zweischaligem Mauerwerk nach Vorgaben der Schweizerischen Ziegelindustrie [7].

sprechend den Erfahrungen in der Schweiz zu berücksichtigen. Von den beiden Varianten mit Wärmedämmung ist die mit Luftschicht als die konventionelle und die andere - mit Kerndämmung - als die moderne zu bezeichnen. Im erstgenannten Fall wirkt die Luftschicht unter Verzicht auf die Wirkung von 4 cm Dämmung als Sperrschicht für Regenwasser, im zweiten Fall übernimmt dies die Dämmschicht selbst. Ausführungsfehler können bei beiden Varianten gemacht werden: Bei Dämmung mit Luftschicht kann Mörtel in den Luftspalt gelangen, bei Kerndämmung können Mörtelreste zwischen den Platten oder schlampiges Einbringen der Platten deren Sperrwirkung beeinträchtigen. Gegen mögliche Baufehler ist keine der beiden Varianten gefeit. Die Meinung, dass die Variante mit Luftschicht "ein bisschen mehr Sicherheit" bietet ist unbegründet. Die praktischen Erfahrungen zeigen, dass sich die Kerndämmung bewährt hat. Man kommt somit bei zweischaligem Mauerwerk hinsichtlich der Dämmung zur gleichen Schlussfolgerung wie bei der Zwischensparrendämmung von Dachgeschossen: Eine voll gedämmte Zwischenschicht ist unproblematisch und ermöglicht einen optimalen Wärmeschutz bei den gegebenen Konstruktionsabmessungen.

Nachbesserungen sind in der Norm hinsichtlich der Belüftung und der Entwässerung erforderlich. Eine Belüftung ist bei Kerndämmung nicht möglich und generell nicht nötig. Durch Belüftungsöffnungen eindringende Regenfeuchte kann den möglicherweise gegebenen, geringen Belüftungseffekt kompensieren. Die geforderten Entwässerungsöffnungen auf eine Wandfläche

von 20 m² zu beziehen ist nicht sinnvoll. Auch die unterschiedlichen Größen erscheinen nicht begründbar, nämlich bei Luftschicht 7500 mm² und bei Kerndämmung 5000 mm². Sinnvoll ist es, Entwässerungsöffnungen unabhängig von der Wandfläche in der untersten Steinlage vorzusehen, etwa durch Öffnung jeder zweiten Stoßfuge.

Durch Berücksichtigung dieser Vorschläge können die Ausführungen über zweischalige Außenwände in der DIN 1053-1 einfacher gestaltet werden.

5.Literaturhinweise

- [1] Künzel, H.: Wärme- und Feuchteschutz von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung. Bauphysik 13 (1991), H. 6, S. 252-257.
- [2] Klaas, H., Schulz, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. Band 13, Schadenfreies Bauen, IRB-Verlag Stuttgart (1995)
- [3] DIN 1053-1: Mauerwerk, Berechnung und Ausführung. November 1996.
- [4] Lindauer, E.: Einfluss der Besonnung auf den Wärmedurchgang und die Temperaturverhältnisse bei Außenwänden. Veröffentlichung demnächst.
- [5] Wulkan, K.H.: Das Vorhalten in nachträglich verfülltem zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht. Bauphysik 5 (1983), H.4, S.116-121.
- [6] Pfefferkorn, W.: Risssschäden an Mauerwerk. Schadenfreies Bauen. Band 7, S.122, Stuttgart 1994.
- [7] Backstein-Zweischalenmauerwerk. Broschüre der Schweizerischen Ziegelindustrie, Zürich 1993 (3. Auflage 1997)