



# Geschosswohnungsbau mit monolithischem Mauerwerk aus Leichtbeton

Sonderdruck  
Mauerwerk 23 (2019), Heft 3



Bundesverband  
Leichtbeton e.V.

# Monolithic lightweight concrete masonry for multi-storey apartment buildings

## Geschosswohnungsbau mit monolithischem Mauerwerk aus Leichtbeton

*Affordable living space has become one of the main talking points in Germany next to the threat of climate change. The SMEs of the German lightweight concrete industry offer regional masonry solutions for detached, semi-detached, and terraced houses as well as multi-storey apartment buildings.*

*Particularly in densely populated urban centres, the need for multi-storey apartment buildings arises constantly. In the following the performance of monolithic lightweight concrete masonry will be described and compared with the relevant requirements for multi-storey apartment buildings. It will be demonstrated that masonry with supposedly low compressive strength can still fulfil all requirements. Of particular significance here are the external wall-slab junctions.*

**Keywords:** monolithic masonry; lightweight concrete; pumice; multi-storey apartment buildings; energy saving; EPBD; loadbearing capacity; thermal bridge; wall-slab junction

Bezahlbarer Wohnraum hat sich in den letzten Jahren neben dem drohenden Klimawandel zu einem der wichtigsten Themen in Deutschland entwickelt. Die von mittelständischen Unternehmen geprägte Leichtbeton-/Bimsindustrie bietet mit ihren Mauersteinen regional tradierte Lösungen nicht nur für Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser, sondern auch für Geschosswohnungsbauten an. Da insbesondere in dicht besiedelten Ballungsgebieten die Nachfrage nach Geschosswohnungsbauten stetig steigt, soll in diesem Beitrag die Leistungsfähigkeit von monolithischem Mauerwerk aus Leichtbeton den Anforderungen an Geschosswohnungsbauten gegenübergestellt und aufgezeigt werden, dass (und wie) auch größere Geschosswohnungsbauten aus Mauerwerk mit vermeintlich geringen Druckfestigkeiten realisierbar sind. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Detail des Außenwand-Decken-Knotens.

**Stichworte:** Monolithisches Mauerwerk; Leichtbeton; Bims; Geschosswohnungsbau; Wohnungsbau; Energieeinsparung; EnEV; GEG; Tragfähigkeit; Wärmebrücke; Wand-Decken-Knoten

### 1 Introduction

External walls of buildings have numerous functions and are subject to numerous requirements. In order to fulfil the requirements for external walls, three types of external wall masonry are differentiated in Germany (Fig. 1):

- Single-layer (monolithic) masonry
- Cavity masonry
- Masonry with external thermal insulation composite system (ETICS).

With external walls of cavity masonry or masonry with ETICS, there is a clear functional separation of the individual building element layers. The inner leaf primarily has the structural function, whereas the insulation in the cavity between the two leaves of cavity wall or on the external face of a wall with additional insulation has to fulfil the needs of thermal insulation and protection against damp. The outer leaf (normally of facing units or clinker bricks, less often of rendered lightweight concrete blocks) fulfils the function of weather protection, which the render has to provide with additionally insulated or monolithic masonry. At the same time, the outer leaf increases the sound insulation against outside noise.

With the exception of weather protection, which is provided by the external render, monolithic masonry has to be in a position to fulfil all requirements of building

### 1 Einleitung

Außenwände von Gebäuden haben eine Vielzahl von Funktionen und unterliegen zahlreichen Anforderungen. Um die an Außenwände bestehenden Anforderungen zu erfüllen, werden in Deutschland im Allgemeinen drei typische Außenwandkonstruktionen aus Mauerwerk unterschieden (Bild 1):

- einschaliges (monolithisches) Mauerwerk
- zweischaliges Mauerwerk
- Mauerwerk mit Thermohaut/Wärmedämmverbundsystem (WDVS).

Bei Außenwänden aus zweischaligem Mauerwerk oder aus Mauerwerk mit WDVS besteht eine klare funktionale Trennung der einzelnen Bauteilschichten. Die Innenschale hat in erster Linie statische Funktion, wohingegen die Wärmedämmung im Schalenzwischenraum zweischaliger Wände bzw. an der Außenseite zusatzgedämmter Wände die wärme- und feuchtschutztechnischen Belange zu erfüllen hat. Die Außenschale (in der Regel aus Vormauerziegeln oder Klinkern, seltener aus verputzten Leichtbetonsteinen) zweischaliger Außenwände erfüllt die Funktion des Witterungsschutzes, welchen bei zusatzgedämmtem oder monolithischem Mauerwerk der Außenputz erbringen muss. Gleichzeitig erhöht eine Außenschale den Schallschutz gegen Außenlärm.

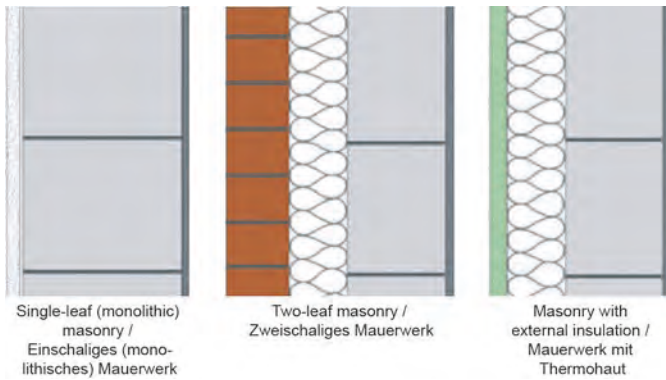


Fig. 1. Typical types of masonry external construction  
Bild 1. Typische Außenwandkonstruktionen aus Mauerwerk

physics and structural strength without any additional (external) thermal insulation. For this reason, building materials are only suitable for monolithic masonry if they have very good thermal insulation properties and adequate loadbearing capacity.

## 2 Masonry of lightweight concrete for monolithic external walls

Lightweight concrete blocks are made of the natural raw materials cement, water and lightweight aggregates, with the cement acting as binder. Since neither energy-intensive firing in a kiln nor steam hardening under pressure and heat in autoclaves is necessary to produce lightweight concrete blocks, they show much less primary energy than other massive walling blocks [1].

The product palette of lightweight concrete blocks ranges from heavy, high-strength blocks for internal walls, party walls and cavity and externally insulated (ETICS) external walls to lightweight, highly insulated blocks for monolithic external walls.

The increasingly stringent requirements for thermal insulation of buildings (and thus also the building envelope) to increase energy efficiency in the building sector

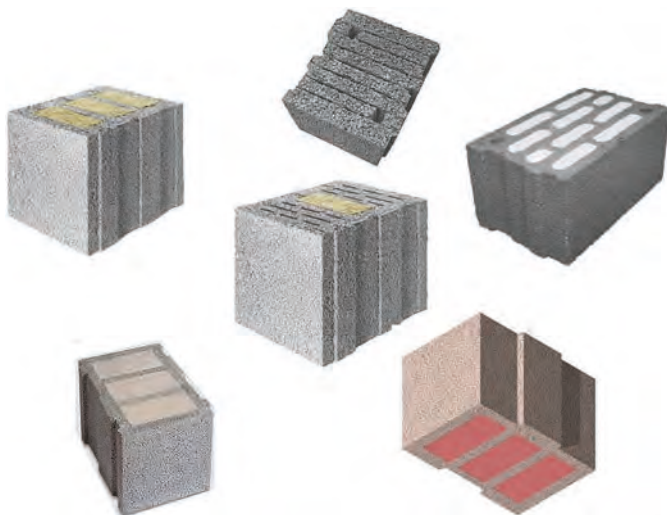


Fig. 2. Examples of thermally insulated lightweight concrete blocks for monolithic masonry  
Bild 2. Leichtbetonsteine für monolithisches Mauerwerk (Beispiele)

Mit Ausnahme des Witterungsschutzes, welcher vom Außenputz erbracht wird, muss monolithisches Mauerwerk in der Lage sein, alle bauphysikalischen und statischen Anforderungen ohne zusätzliche (außenseitige) Wärmedämmung zu erfüllen. Aus diesem Grund eignen sich nur Baustoffe für monolithisches Mauerwerk, bei denen sehr gute Wärmedämmeigenschaften mit ausreichender Tragfähigkeit einhergehen.

## 2 Mauerwerk aus Leichtbeton für monolithische Außenwände

Mauersteine aus Leichtbeton werden aus den natürlichen Ausgangsstoffen Zement, Wasser und leichte Gesteinskörnungen hergestellt. Der Zement dient dabei als Bindemittel. Da weder ein energieintensives Brennen im Ofen noch eine Dampferhärtung unter Druck und Hitze in Autoklaven zur Herstellung von Mauersteinen aus Leichtbeton erforderlich sind, weisen Mauersteine aus Leichtbeton einen äußerst geringen Primärenergiebedarf auf, was sich sehr positiv auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden auswirkt [1].

Die Produktpalette von Mauersteinen aus Leichtbeton weist sowohl schwere, hochfeste Steine für Innenwände, Haustrennwände sowie zweischalige und zusätzlich gedämmte (WDVS) Außenwände als auch leichte, hochwärmedämmende Steine für monolithische Außenwände auf.

Die Verschärfung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz (und damit einhergehend an die Gebäudehülle) zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor führte zu einer steten Weiterentwicklung der Produkte für monolithisches Mauerwerk aus Leichtbeton bis hin zu Wärmeleitfähigkeiten von  $\lambda = 0,06 \text{ W/(mK)}$ , um stets auch höchsten Ansprüchen an die Gebäudehülle genügen zu können. Die traditionell seit jeher hochwärmedämmenden Steine wurden dabei durch Optimierung von Rohdichte und Lochbild sowie durch Einbringung von Dämmstoffen in die Lochungen weiter perfektioniert. Als Füllstoffe werden heutzutage in der Regel Mineralwolle, Perlite, Mineralschaum- oder Phenolharzschaum verwendet (Bild 2).

Vor dem Hintergrund physikalischer Zusammenhänge ist offensichtlich, dass mit der Reduzierung der Rohdichte zwangsläufig eine Reduzierung der Druckfestigkeit einhergeht. Der Wertebereich der für den statischen Nachweis relevanten charakteristischen Druckfestigkeit  $f_k$  von Mauerwerk aus Leichtbeton mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,14 \text{ W/(mK)}$  liegt zwischen  $2,4$  und  $2,8 \text{ N/mm}^2$ , wohingegen er sich für Mauerwerk aus Produkten mit  $\lambda = 0,07 \text{ W/(mK)}$  auf Werte zwischen  $0,9$  und  $1,4 \text{ N/mm}^2$  reduziert.

## 3 Das Detail „Außenwand-Decken-Knoten“

### 3.1 Allgemeines

Bei monolithischen Außenwänden sind eine sorgfältige Planung und Ausführung des Außenwand-Decken-Knotens von großer Bedeutung, da dieses Detail neben den Anforderungen aus der Statik gleichzeitig auch den Aspekten aus Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz genügen muss. Zur Vermeidung bzw. Verringerung von Wärmebrückenverlusten liegt im Gegensatz zu Mauerwerk mit Thermohaut (WDVS) und zweischaligem Mauerwerk die Geschossdecke nicht vollständig ( $a = t$ ), sondern nur teil-

has led to continuous further development of products for monolithic lightweight concrete masonry to reach thermal conductivities of  $\lambda = 0.06 \text{ W/(mK)}$  in order to be able to satisfy the most stringent requirements for the building envelope. The traditionally always highly insulated blocks have been further perfected by optimising the raw density and coring pattern and the installation of insulation in the cores. The filling material used today is normally mineral wool, perlite, mineral foam of phenolic resin foam (Fig. 2).

Considering the physical relationships, it is clear that a reduction of the raw density will inevitably lead to a reduction of the compressive strength. The range of values for the characteristic compressive strength that is relevant for the structural verification  $f_k$  of lightweight concrete masonry with a thermal conductivity of  $\lambda = 0.14 \text{ W/(mK)}$  lies between 2.4 and 2.8  $\text{N/mm}^2$ , while for masonry of products with  $\lambda = 0.07 \text{ W/(mK)}$ , the corresponding values reduce to between 0.9 and 1.4  $\text{N/mm}^2$ .

### 3 The „external wall – slab junction“ detail

#### 3.1 General

With monolithic external walls, careful design and construction of the junction between the external wall and the floor slab is of great importance since this detail not only has to satisfy the structural design but also aspects of thermal insulation, damp, sound and fire protection. In order to avoid or at least reduce thermal bridging losses, and in contrast to masonry with external insulation (ETICS) and cavity masonry, the floor slab is not fully supported ( $a = t$ ), but only partially ( $a < t$ ) on the external wall with thickness  $t$  (Fig. 3). The face of this junction is provided with insulation. In order to ensure a homogeneous render substrate, a thin shell of lightweight concrete can also be provided to the outside. If this shell is omitted, the change of

weise ( $a < t$ ) auf der Außenwand mit der Dicke  $t$  auf (Bild 3). Der vordere Bereich des Außenwand-Decken-Knotens ist mit einer Stirndämmung auszuführen. Zur Sicherstellung eines homogenen Putzgrundes kann auch eine dünne Schale aus Leichtbeton an der Außenseite angeordnet werden. Bei Verzicht auf diese Schale ist bei den Verputzarbeiten der Materialwechsel im Putzgrund nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu berücksichtigen, siehe auch [2, 3]. Es ist darauf zu achten, dass die Stirndämmung eine mögliche Verkürzung der Stahlbetondecke infolge Kriechens und Schwindens ausgleichen kann. Vor dem Hintergrund einer möglichen Verformung der Stahlbetondecke empfiehlt sich bei Steinen ohne Deckel ggf. außerdem der Einsatz von Trennlagen aus Bitumenpappe ober- und unterhalb der Außenwände.

Allgemein empfiehlt sich als Standardlösung eine Deckenaufgartiefe zwischen  $a/t = 0,67$  und  $a/t = 0,85$  in Verbindung mit einer Stirndämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 035 (siehe Bild 3).

#### 3.2 Wärme- und Feuchteschutz

Der Außenwand-Decken-Knoten von monolithischem Mauerwerk ist ein typisches Beispiel für eine Kombination aus geometrischer und materialbedingter Wärmebrücke. Die Berechnung der dort entstehenden Wärmestromverläufe erfordert einen hohen rechnerischen Aufwand. Als Leitfaden für die Praxis gilt das Beiblatt 2 zur DIN 4108 [4], welches einen Katalog von Konstruktionsempfehlungen zur Minderung des Wärmebrückeneinflusses beinhaltet. Zusätzlich bietet die Leichtbetonindustrie abgestimmte Wärmebrückenkataloge, Planungsdetails und Berechnungstools an, denen die erforderlichen Kennwerte für den Nachweis des Mindestwärmeschutzes und zur Ermittlung des Einflusses auf den Heizwärmebedarf der jeweiligen Details entnommen werden können.

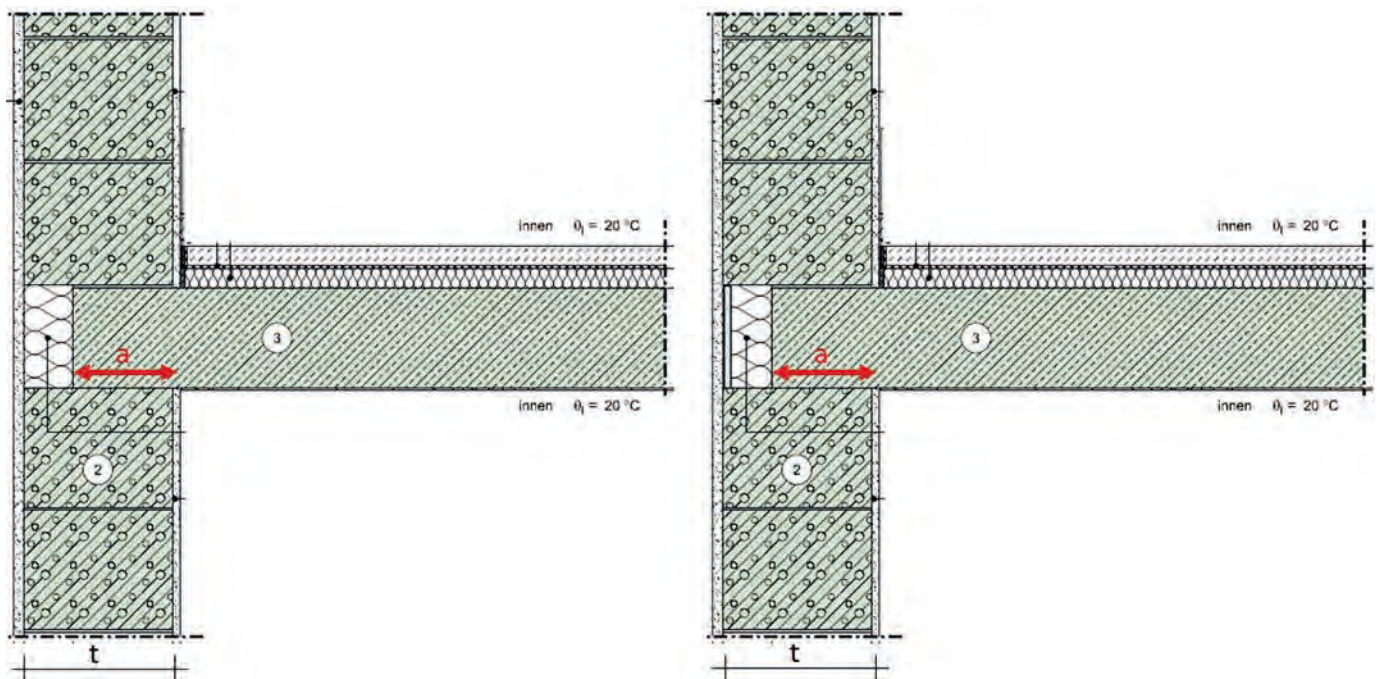


Fig. 3. Wall-slab junction details with monolithic masonry

Bild 3. Ausführungsvarianten eines Außenwand-Decken-Knotens mit monolithischem Leichtbetonmauerwerk

material in the substrate has to be taken into account in the application of the render according to the generally recognised rules of the technology, see also [2, 3]. Care should be taken that the face insulation can compensate any contraction of the reinforced concrete floor slab due to creep or shrinkage. Considering the possibility of displacement of the concrete slab, blocks without a cover may require the use of bitumen sheet above and below the external walls.

In general, a slab bearing length of between  $a/t = 0,67$  and  $a/t = 0,85$  is recommended as a standard solution in combination with face insulation of thermal conductivity group 035 (see Fig. 3).

### 3.2 Thermal insulation and damp protection

The junction of an external monolithic masonry wall with the floor slab is a typical example of a combination of geometrical and material thermal bridge. Calculation of heat flows at this junction demands a high degree of calculation. The guideline in practice is the supplementary note 2 to DIN 4108 [4], which contains a catalogue of recommended construction details to reduce thermal bridging effects. The lightweight concrete industry also offers dedicated thermal bridge catalogues, design details and calculation tools, providing the necessary data for verification of thermal insulation and determination of the influence of the relevant detail on heating energy demand.

The minimum thermal insulation according to DIN 4108-2 [5] ensures, given sufficient heating and ventilation, a hygienic interior climate so that condensation and mould can be avoided, particularly on internal wall surfaces. This is generally ensured for constructions with relative slab bearing lengths of  $0,67 \leq a/t \leq 0,85$ .

The influence of thermal bridges on the heating loss and thus on the heating energy demand of a building has to be considered according to the German energy saving regulations (EnEV) [6] § 7 Abs. 3. The lump sum consideration of thermal bridge losses with  $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  is no longer appropriate or practically relevant considering the current requirements for the energy efficiency of buildings. A lump sum increase by  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  in combination with the detailing of all thermal bridge details according to DIN 4108, Supplement 2 on the other hand is often used. For the external wall-slab junction, Detail 71 from Supplement 2 is decisive. In order to verify equivalence, the length-related thermal transmittance  $\Psi_e$  of the relevant detail should not be greater than  $0,06 \text{ W}/(\text{mK})$ . This is the case, for example, if the relative slab bearing length  $a/t = 0,67$  and the remaining third is completely filled with insulation of thermal transmittance group 035. Should a prefabricated block or slab edge shell be used, then insulation with correspondingly better thermal conductivity should be used.

Since the lump sum thermal bridge supplement  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  is also much on the safe side for large apartment buildings, detailed consideration of thermal bridge losses is to be recommended for the design of very energy-efficient buildings, and is sometimes even essential [7]. With the forthcoming revision of Supplement 2 of DIN 4108 [8], which will now refer to the planned building energy law (GEG) [9], this circumstance is dealt with

Der Mindestwärmeschutz gemäß DIN 4108-2 [5] gewährleistet bei ausreichender Beheizung und Lüftung ein hygienisches Raumklima, sodass Tauwasser- und Schimmelpilzfreiheit, insbesondere an den Innenoberflächen, sichergestellt ist. Dies ist für Konstruktionen mit bezogenen Deckenauflagertiefen von  $0,67 \leq a/t \leq 0,85$  im Allgemeinen gewährleistet.

Der Einfluss von Wärmebrücken auf den Wärmeverlust und damit verbunden auf den Heizwärmebedarf eines Gebäudes ist gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) [6] § 7 Abs. 3 zu berücksichtigen. Die pauschale Berücksichtigung der Wärmebrückenverluste mit  $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ist vor dem Hintergrund heutiger Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden quasi nicht mehr zeitgemäß bzw. praxisrelevant. Die pauschale Erhöhung um  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  in Verbindung mit der Ausführung aller Wärmebrückendetails nach DIN 4108, Beiblatt 2 wird dagegen häufig angewendet. Für den Außenwand-Decken-Knoten ist Detail 71 aus Beiblatt 2 maßgebend. Zum Nachweis der Gleichwertigkeit darf demnach der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi_e$  des jeweiligen Details nicht größer als  $0,06 \text{ W}/(\text{mK})$  sein. Dies ist zum Beispiel gegeben, wenn die bezogene Deckenauflagertiefe  $a/t = 0,67$  beträgt und das restliche Drittel vollständig mit Dämmstoff der WLG 035 ausgeführt wird. Soll ein Abmauerstein oder eine Deckenrandschale zum Einsatz kommen, so ist ein Dämmstoff mit entsprechend besserer Wärmeleitfähigkeit zu verwenden.

Da auch der pauschalierte Wärmebrückenzuschlag  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  insbesondere für große Geschosswohnungsbauten sehr stark auf der sicheren Seite liegt, ist eine detaillierte Erfassung der Wärmebrückenverluste bei der Planung von sehr energieeffizienten Gebäuden zu empfehlen, bzw. mitunter sogar erforderlich [7]. Mit der Überarbeitung des Beiblatts 2 von DIN 4108 [8], welches vom geplanten Gebäudeenergiegesetz (GEG) [9] in Bezug genommen werden wird, wurde diesem Umstand insofern Rechnung getragen, als dass eine zusätzliche (bessere) Kategorie B mit einem pauschalierten Wärmebrückenzuschlag von  $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  eingeführt wurde. Die für die jeweilige Kategorie erforderlichen  $\Psi_e$ -Werte des Details Außenwand-Decken-Knoten wurden mit  $0,19 \text{ W}/(\text{mK})$  für die (bisherige) Kategorie A und  $0,12 \text{ W}/(\text{mK})$  für die (neue) Kategorie B festgelegt. Dies hat zur Folge, dass die Deckenauflagertiefe bei Ansatz des (bisherigen) pauschalierten Wärmebrückenzuschlages  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  von  $a/t = 0,67$  je nach Wanddicke auf Werte zwischen  $a/t = 0,83$  und  $0,90$  vergrößert werden darf (siehe Tabelle 1). Selbst bei Ansatz des (neuen und „besseren“) pauschalierten Wärmebrückenzuschlages der Kategorie B mit  $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erhöht sich die zulässige Deckenauflagertiefe mit  $a/t \approx 0,80$  deutlich gegenüber dem bisherigen Ankerwert  $a/t = 0,67$  (siehe Tabelle 1).

Die rechnerische Leistungsfähigkeit des Details Außenwand-Decken-Knoten wird durch das neue Beiblatt 2 somit sowohl aus wärmeschutztechnischer als auch aus statischer Sicht erheblich gesteigert.

### 3.3 Schallschutz

Der Außenwand-Decken-Knoten von monolithischem Mauerwerk ist ein typisches Beispiel für einen T-Stoß. Die

Table 1. Maximum bearing length of the slab on an external wall according to Supplement 2 of DIN 4108  
 Tabelle 1. Maximale Auflagertiefe der Geschossdecke auf der monolithischen Außenwand auf Basis von Beiblatt 2 zu DIN 4108

Issue of supplement 2 DIN 4108 / Ausgabe Beiblatt 2 DIN 4108	2006				2019							
	Lump sum thermal bridge supplement $\Delta U_{WB}$ / pauschalierter Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	0.05				0.05 (category A) / 0,05 (Kategorie A)				0.03 (category B) / 0,03 (Kategorie B)		
Length-related thermal transmittance $\Psi_e$ / Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\Psi_e$ [W/(mK)]	0.06				0.19				0.12			
Wall thickness $t$ / Wanddicke $t$ [mm]	300	365	425	490	300	365	425	490	300	365	425	490
Face insulation WL 35 / Stirndämmung WL 35 [mm]	100	120	140	160	50	50	50	50	60	70	75	85
Possible bearing length $a$ / Mögliche Auflagertiefe $a$ [mm]	200	245	285	330	250	315	375	440	240	295	350	405
Relative bearing length $a/t$ / Bezogene Auflagertiefe $a/t$ [-]	0.67	0.67	0.67	0.67	0.83	0.86	0.88	0.90	0.80	0.81	0.82	0.83
Increase of bearing length compared to old Supplement / Erhöhung Auflagertiefe gegenüber altem Beiblatt					25%	29%	32%	33%	20%	20%	23%	23%

through the introduction of an additional (better) category B with a lump sum thermal bridge supplement of  $\Delta U_{WB} = 0.03 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . The  $\Psi_e$ -values required for each category of the external wall-slab junction have been decided at 0.19 W/(mK) for the (former) category A and 0.12 W/(mK) for the (new) category B. This has the consequence that the slab bearing length using the (until now) lump sum thermal bridge supplement  $\Delta U_{WB} = 0.05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  may be increased from  $a/t = 0.67$  according to the wall thickness to values of between  $a/t = 0.83$  and 0.90 (see Table 1). Even the setting of a (new and “better”) lump sum thermal bridge supplement of category B with  $\Delta U_{WB} = 0.03 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  increases the permissible slab bearing length with  $a/t \approx 0.80$  greatly in comparison with the current base value of  $a/t = 0.67$  (see Table 1).

The calculated performance of the external wall-slab junction detail is thus considerably improved by the new Supplement 2, both in terms of thermal insulation and structurally.

### 3.3 Sound insulation

The external wall-slab detail of monolithic masonry is a typical example for a T-joint. The intermediate slab of reinforced concrete in this case is the (massive) separating building element for the rooms under consideration. The external wall represents the flanking building element, whose sound transmission has to be reduced.

It is clear that an enlargement of the bearing or embedment length of the slab will increase the joint insulation measurement, whereas a facing block can reduce the joint sound reduction due to the additional sound transmission route (cf. Fig. 4). A detail with the greatest possible slab bearing length and only face insulation (without facing block) is thus the best solution from the point of view of sound insulation.

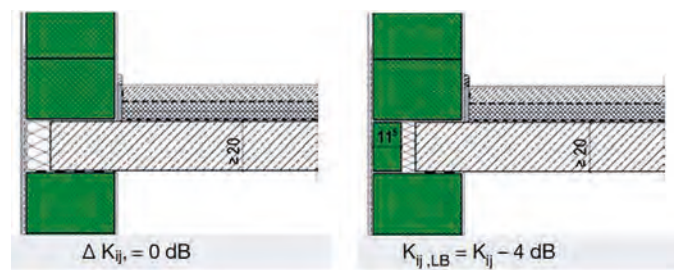


Fig. 4. Influence on the joint sound reduction index  $K_{13}$  for different construction variants  
 Bild 4. Einfluss auf das Stoßstellendämm-Maß  $K_{13}$  bei unterschiedlichen Ausführungsvarianten [10]

Zwischendecke aus Stahlbeton ist dabei das (massive) trennende Bauteil der zu betrachtenden Räume. Die Außenwand stellt das flankierende Bauteil dar, dessen Schalllängsleitung es zu minimieren gilt.

Es ist offensichtlich, dass eine Vergrößerung der Einbinde- bzw. Auflagertiefen der Decke das Stoßstellendämm-Maß erhöht, wohingegen ein Abmauerstein infolge des zusätzlich entstehenden Schallübertragungswegs das Stoßstellendämm-Maß verringern kann (vgl. Bild 4). Eine Ausführung mit möglichst großer Deckenaufлагertiefe und ausschließlicher Stirndämmung (ohne Abmauerstein) stellt daher aus schallschutztechnischer Sicht die beste Variante dar.

### 3.4 Brandschutz

Eine wichtige Voraussetzung für die Einstufung von monolithischen Außenwänden in Feuerwiderstandsklassen (siehe Abschnitt 7.2) ist die, dass die Gesamtausmitte  $e_{mk,fi}$  der Last in Wandhöhenmitte nicht größer als  $t/6$  sein darf. Dies bedeutet, dass – sofern Brandschutzanforderungen vorliegen und der Lastabtrag über einen Abmauerstein vernach-

### 3.4 Fire safety

One important precondition for the classification of monolithic external walls in fire resistance classes (see Section 7.2) is that the total eccentricity  $e_{mk,fi}$  of the load at half wall height may not be greater than  $t/6$ . This means that – if there are fire safety requirements and the load transfer through a facing block is neglected – slab support lengths of  $a/t \geq 0,67$  are necessary at the wall head and wall foot of external walls.

### 3.5 Structural design

Consideration of the external wall-slab junction from the structural viewpoint is especially significant since the load-bearing behaviour of a monolithic external wall is decisively influenced by the bearing length of the reinforced concrete slab on the external wall. It is easily apparent that a reduced slab bearing length ( $a/t < 1$ ) reduces the load-bearing capacity in comparison to a fully supported slab ( $a/t = 1$ ) since the face insulation cannot be used for load transfer and less area is thus available for load transfer.

For structural verification of external walls using the simplified method according to DIN EN 1996-3/NA (see Section 4.2), the reduction of loadbearing capacity due to a reduced slab bearing length ( $a/t < 1$ ) is covered by the equations to determine the reduction factor  $\Phi$ .

Fig. 5 shows the reduction factors  $\Phi$  depending on the relative bearing length  $a/t$ , the slab span  $l_f$  and the characteristic compressive strength of the masonry  $f_k$  over the range of values found in practice for the slenderness of monolithic external walls  $h_{ef}/t$ . If the “roof corner” situation, which is not normally decisive in any case due to the

lässigt wird – am Wandkopf und Wandfuß von Außenwänden Deckenauflagertiefen von  $a/t \geq 0,67$  erforderlich sind.

### 3.5 Statik

Der Betrachtung des Außenwand-Decken-Knotens aus statischer Sicht kommt besondere Bedeutung zu, da das Tragverhalten einer monolithischen Außenwand maßgeblich von der Auflagertiefe der Stahlbetondecke auf der Außenwand beeinflusst wird. Es ist leicht ersichtlich, dass eine reduzierte Deckenauflagertiefe ( $a/t < 1$ ) im Gegensatz zu einer vollaufliegenden Decke ( $a/t = 1$ ) die Tragfähigkeit verringert, da die Stirndämmung nicht zum Lastabtrag herangezogen werden kann und somit weniger Querschnittsfläche zum Lastabtrag zur Verfügung steht.

Beim statischen Nachweis von Außenwänden mit den vereinfachten Berechnungsmethoden gemäß DIN EN 1996-3/NA (siehe Abschnitt 4.2) wird die Abminderung der Tragfähigkeit infolge einer reduzierten Deckenauflagertiefe ( $a/t < 1$ ) über die Gleichungen zur Ermittlung des Abminderungsbeiwertes  $\Phi$  erfasst.

In Bild 5 sind die Abminderungsbeiwerte  $\Phi$  in Abhängigkeit von der bezogenen Auflagertiefe  $a/t$ , der Deckenstützweite  $l_f$  und der charakteristischen Druckfestigkeit des Mauerwerks  $f_k$  über den praxisnahen Wertebereich für die Schlankheit von monolithischen Außenwänden  $h_{ef}/t$  dargestellt. Vernachlässigt man die Situation „Dachdecke“, die aufgrund des dort vorliegenden geringen Auflastniveaus in der Regel ohnehin nicht maßgebend wird, beeinflusst die Auflagertiefe die Tragfähigkeit der Außenwände mitunter erheblich. Für Mauerwerk mit  $f_k$ -Werten kleiner  $1,8 \text{ N/mm}^2$  hat auch die Deckenstützweite  $l_f$  einen erheblichen Einfluss auf den Abminderungsbeiwert und somit

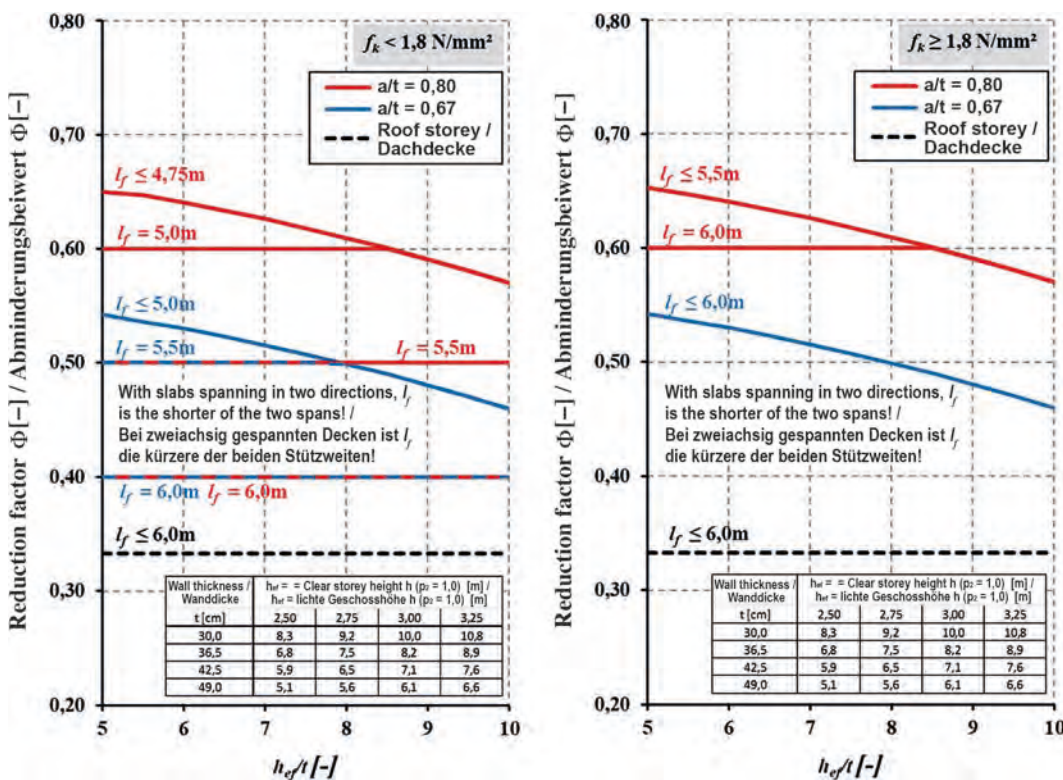


Fig. 5. Decisive capacity reduction factor  $\Phi$  according to DIN EN 1996-3/NA for monolithic external walls  
 Bild 5. Maßgebender Abminderungsbeiwert  $\Phi$  nach DIN EN 1996-3/NA für monolithische Außenwände

low level of loading there, is neglected, then the bearing length has a considerable influence on the loadbearing capacity of the external walls. For masonry with  $f_k$ -values of less than  $1.8 \text{ N/mm}^2$ , the slab bearing length  $l_f$  has a considerable influence on the reduction factor and thus on the loadbearing capacity. Considering this, it is important to note that with slabs spanning in two directions, the shorter of the two spans always has to be taken for the slab span  $l_f$ .

#### 4 Loadbearing capacity of external walls of monolithic lightweight concrete masonry

##### 4.1 General

For masonry, publication of the National Annex to DIN EN 1996-1-2 in July 2013 finally completed the Eurocode 6 (DIN EN 1996) code package in Germany. The code has meanwhile been implemented in all country lists. The cold design can be performed either by the “simplified calculation method” of DIN EN 1996-3 [11] or according to the general (formerly “precise”) procedure of DIN EN 1996-1-1 [12]. The appropriate National Annexes [13, 14] are compulsory.

Since monolithic lightweight concrete masonry in Germany is only regulated in national technical approvals (abZ) or general construction technique permits (aBG), this is dealt with in the abZ/aBG and any regulations deviating from the codes always have to be observed. This naturally also applies to the already mentioned building physics aspects.

##### 4.2 Determination of the loadbearing capacity according to DIN EN 1996-3/NA

DIN EN 1996-3 with its simplified calculation methods was accepted into Eurocode 6 at the express wish of Germany. This is intended to be based on the proven German method according to DIN 1053-1 [15] to ensure that even when the Eurocode is used, structural verification can still be performed quickly and without great effort for most (ca. 90%) of all problems arising in masonry. If the preconditions for use of the simplified procedure are maintained, e.g. maximum building height 20 m, maximum slab span 6.0 m etc.), then even for apartment blocks, certain loading cases like bending moments, unintended eccentricities and wind on loadbearing walls do not have to be verified since they are already considered in the safety margin and the constructional rules.

If the simplified calculation method is used, the slab bearing length on the external wall according to [13] has to be  $a/t \geq 0.5$  ( $a/t \geq 0.45$  for external walls with a thickness of  $t = 36.5 \text{ cm}$ ). Consideration of the facing block, which is in any case unfavourable in terms of building physics (see Sections 3.2 and 3.3), in the calculation is not allowed if using the simplified method.

The design value of the vertical loadbearing resistance (the normal force that can be resisted)  $N_{Rd}$  of a wall is calculated from the wall dimensions, the slab span, the characteristic compressive strength and a reduction factor as described in Section 3.5. This can be taken directly from Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 and Fig. 9. It will be clear that higher  $f_k$ -values, greater bearing lengths  $a$ , and thicker walls  $t$  have a positive effect on the loadbearing capacity, whereas longer slab spans  $l_f$  and higher clear storey heights  $h$  can

auch auf die Tragfähigkeit. Vor diesem Hintergrund ist es besonders wichtig zu beachten, dass bei zweiachsig gespannten Decken für die Deckenstützweite  $l_f$  stets die kürzere der beiden Stützweiten angesetzt werden darf.

#### 4 Tragfähigkeit von Außenwänden aus monolithischem Leichtbetonmauerwerk

##### 4.1 Allgemeines

Im Mauerwerksbau wurde mit der Veröffentlichung des Nationalen Anhangs zu DIN EN 1996-1-2 im Juli 2013 das Normenpaket des Eurocodes 6 (DIN EN 1996) in Deutschland endgültig fertiggestellt und ist mittlerweile in allen Landeslisten umgesetzt worden. Die Kaltbemessung kann dabei entweder nach den sogenannten „Vereinfachten Berechnungsmethoden“ von DIN EN 1996-3 [11] oder dem allgemeinen (früher „genaueren“) Verfahren von DIN EN 1996-1-1 [12] erfolgen. Die jeweils zugehörigen Nationalen Anhänge [13, 14] sind dabei zwingend zu beachten.

Da monolithisches Mauerwerk aus Leichtbeton in Deutschland ausschließlich in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) bzw. allgemeinen Bauartgenehmigungen (aBG) geregelt ist, sind die in den abZ/aBG getroffenen und ggf. von den normativen Regelungen abweichenden Festlegungen ebenfalls stets zu beachten. Dies gilt natürlich auch für die bereits angesprochenen bauphysikalischen Aspekte.

##### 4.2 Bestimmung der Tragfähigkeit nach DIN EN 1996-3/NA

DIN EN 1996-3 mit ihren vereinfachten Berechnungsmethoden wurde insbesondere auf Wunsch Deutschlands mit in den Eurocode 6 aufgenommen. Damit sollte in Anlehnung an das in Deutschland bewährte vereinfachte Verfahren nach DIN 1053-1 [15] sichergestellt sein, dass auch bei Anwendung des Eurocodes der statische Nachweis eines Großteils (ca. 90%) aller im Mauerwerksbau auftretenden Problemstellungen innerhalb kürzester Zeit und ohne großen Aufwand weiterhin möglich ist. Sind die Voraussetzungen zur Anwendung des vereinfachten Verfahrens eingehalten (z. B. maximale Gebäudehöhe 20 m, maximale Spannweite der Decken 6,0 m etc.), brauchen daher auch bei Geschosswohnungsbauten bestimmte Beanspruchungen, wie Biegemomente, ungewollte Ausmitten und Wind auf tragende Wände, nicht nachgewiesen zu werden, da sie im Sicherheitsabstand und den konstruktiven Regeln bereits berücksichtigt sind.

Die Deckenaufлагertiefe auf der Außenwand muss bei Anwendung der vereinfachten Berechnungsmethoden gemäß [13]  $a/t \geq 0,5$  ( $a/t \geq 0,45$  für Außenwände mit Wanddicken  $t = 36,5 \text{ cm}$ ) betragen. Die rechnerische Berücksichtigung des aus bauphysikalischer Sicht ohnehin ungünstigen Abmauersteines (siehe Abschnitte 3.2 und 3.3) ist bei Anwendung der vereinfachten Berechnungsmethoden nicht zulässig.

Der Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstandes (der aufnehmbaren Normalkraft)  $N_{Rd}$  einer Wand ergibt sich aus den Wandabmessungen, der Deckenspannweite, der charakteristischen Druckfestigkeit sowie dem Abminderungsbeiwert nach Abschnitt 3.5. und kann den Bildern 6, 7, 8 und 9 direkt entnommen werden. Es ist offensichtlich, dass sich höhere  $f_k$ -Werte, größere Auflagertiefen a



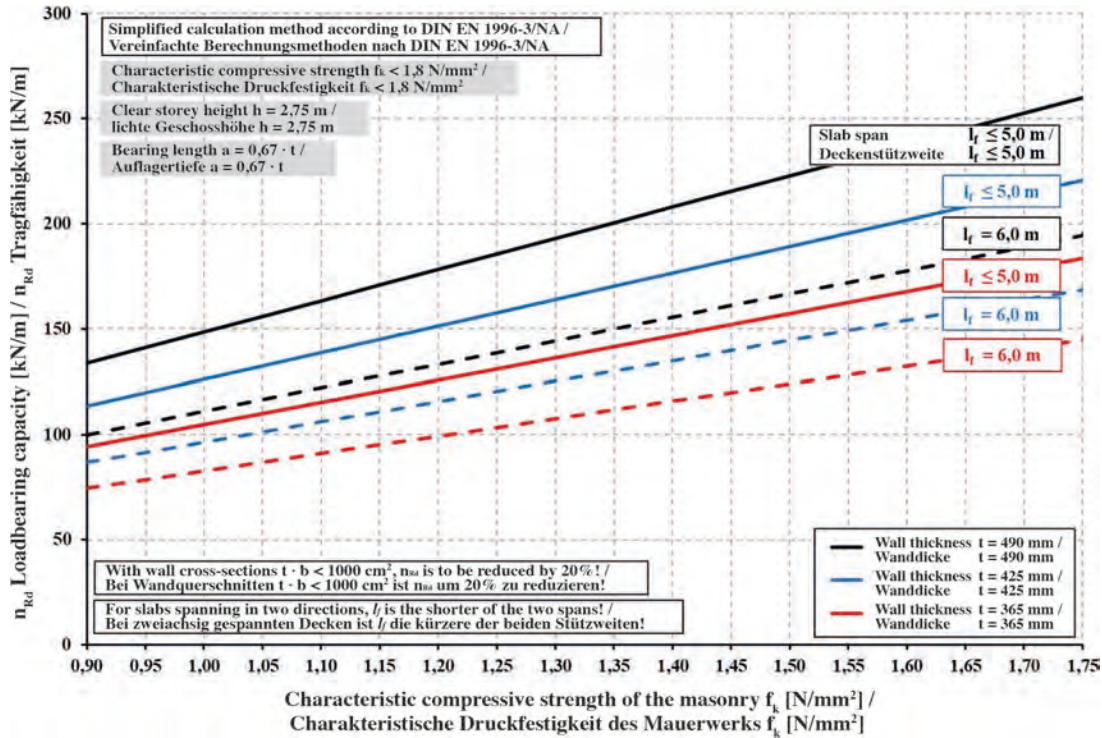


Fig. 6. Vertical resistance  $n_{Rd}$  of monolithic external walls ( $a/t = 0.67$ ;  $f_k < 1.8 \text{ N/mm}^2$ )  
 Bild 6. Tragfähigkeit  $n_{Rd}$  [kN/m] von monolithischen Außenwänden ( $a/t = 0.67$ ;  $f_k < 1.8 \text{ N/mm}^2$ )

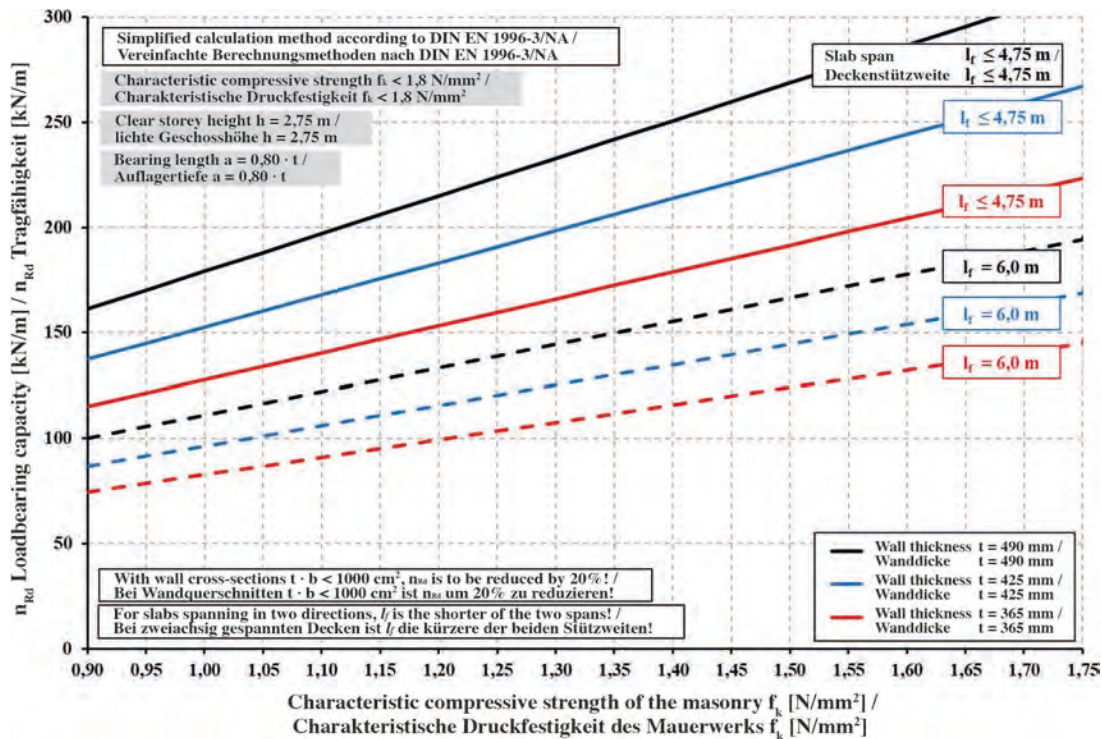


Fig. 7. Vertical resistance  $n_{Rd}$  of monolithic external walls ( $a/t = 0.80$ ;  $f_k < 1.8 \text{ N/mm}^2$ )  
 Bild 7. Tragfähigkeit  $n_{Rd}$  [kN/m] von monolithischen Außenwänden ( $a/t = 0.80$ ;  $f_k < 1.8 \text{ N/mm}^2$ )

have a negative influence on the loadbearing capacity of external walls, although this does not have to be the case. Sometimes the relevant loadbearing curves are valid, for example, for all spans  $l_f \leq 5.0 \text{ m}$  (see Fig. 6) or  $l_f \leq 4.75 \text{ m}$ . The storey height on the other hand only has a marginal influence on the loadbearing capacity of monolithic external walls that are common in practice, or none at all.

und dickere Wände  $t$  positiv auf die Tragfähigkeit auswirken, wohingegen größere Deckenspannweiten  $l_f$  und größere lichte Geschosshöhen  $h$  einen negativen Einfluss auf die Tragfähigkeit von Außenwänden haben können, aber nicht zwangsläufig müssen. Mitunter gelten die jeweiligen Traglastkurven z. B. für alle Stützweiten  $l_f \leq 5.0 \text{ m}$  (siehe Bild 6) oder  $l_f \leq 4.75 \text{ m}$ . Die Geschosshöhe hat auf die

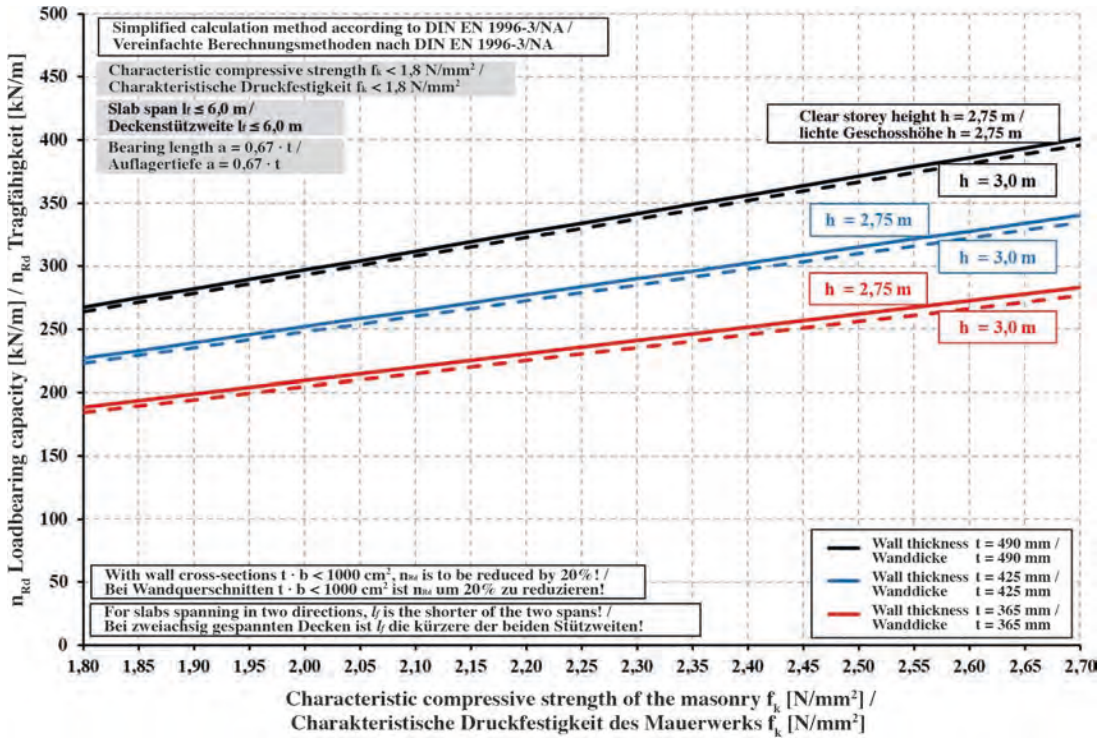


Fig. 8. Vertical resistance  $n_{Rd}$  of monolithic external walls ( $a/t = 0.67$ ;  $f_k \geq 1.8 \text{ N/mm}^2$ )  
 Bild 8. Tragfähigkeit  $n_{Rd}$  [kN/m] von monolithischen Außenwänden ( $a/t = 0,67$ ;  $f_k \geq 1,8 \text{ N/mm}^2$ )

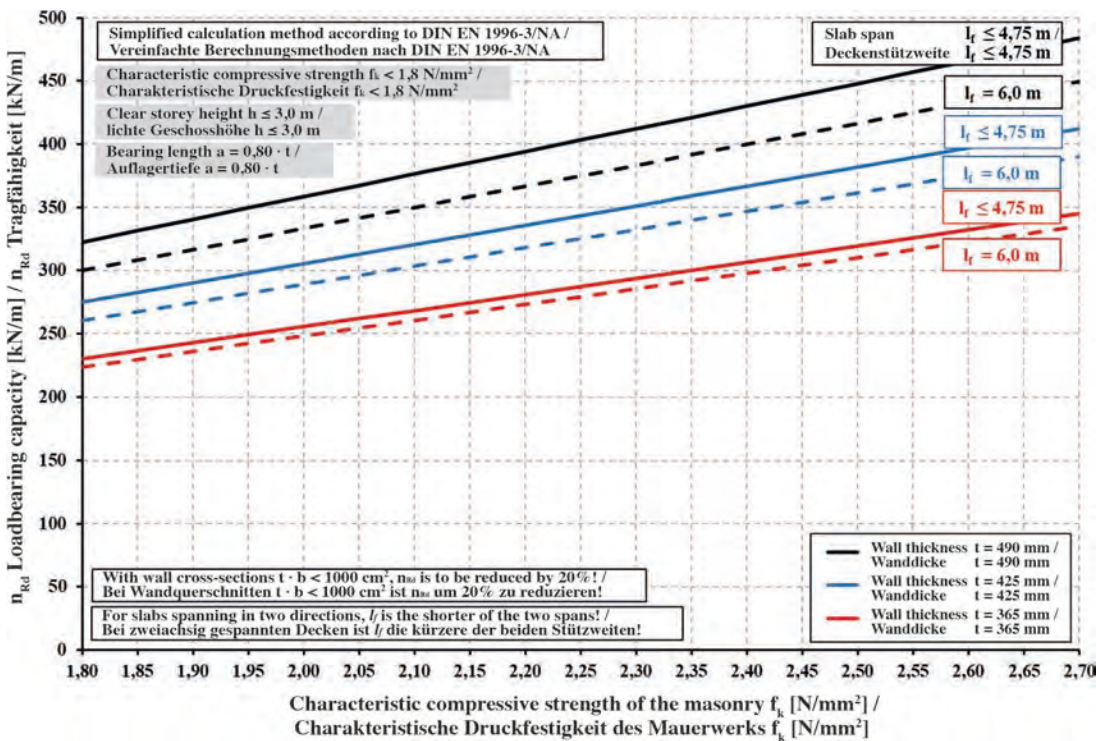


Fig. 9. Vertical resistance  $n_{Rd}$  of monolithic external walls ( $a/t = 0.80$ ;  $f_k \geq 1.8 \text{ N/mm}^2$ )  
 Bild 9. Tragfähigkeit  $n_{Rd}$  [kN/m] von monolithischen Außenwänden ( $a/t = 0,80$ ;  $f_k \geq 1,8 \text{ N/mm}^2$ )

### 4.3 Determination of the loadbearing capacity according to DIN EN 1996-1-1/NA

Considering that the scope of application of the simplified calculation method covers buildings up to a height of up to 20 m, that is buildings of up to 6 or 7 storeys, it can be assumed that an estimated 90 to 95 % of all usual ap-

Tragfähigkeit von praxisüblichen monolithischen Außenwänden dagegen nur marginalen bis gar keinen Einfluss.

### 4.3 Bestimmung der Tragfähigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA

Vor dem Hintergrund, dass der Anwendungsbereich der vereinfachten Berechnungsmethoden Gebäude mit Höhen bis

plications of monolithic lightweight concrete masonry are within the scope of application of the simplified calculation method according to DIN EN 1996-3/NA. The use of the general procedure can however be necessary in order to generate gains of loadbearing capacity compared to the simplified method, which depending on the structural design situation can be up to 15%. This is however only necessary in very few application cases from the structural point of view. Also regarding the verification of serviceability, the use of ten simplified calculation method according to DIN EN 1996-3/NA instead of the general procedure according to DIN EN 1996-1-1/NA is to be recommended: if the verification at the limit state of load-bearing capacity is performed with the simplified calculation method (and the construction rules according to DIN EN 1996-2/NA [16, 17] are maintained), then serviceability can also be seen as fulfilled without further verification, such as for example limitation of the eccentricity (DIN EN 1996-1-1/NA; NCI to 7.2; NA.6 [14]).

**5 Loadbearing capacity of internal walls (of both cavity and additionally insulated external walls) of lightweight concrete masonry**

Determination of the loadbearing capacity of internal walls to both cavity and additionally insulated external walls is carried out similarly to determination of the load-bearing capacity described in Section 4, with the difference that the slabs bear fully on the walls ( $a/t = 1.0$ ) and the

zu 20 m abdeckt, also bis zu 6- oder 7-geschossige Gebäude, kann davon ausgegangen werden, dass schätzungsweise 90 bis 95% der üblichen Anwendungsfälle von monolithischem Leichtbetonmauerwerk in den Anwendungsbereich der vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA fallen. Die Anwendung des allgemeinen Verfahrens kann jedoch erforderlich sein, will man Tragfähigkeitsgewinne gegenüber den vereinfachten Berechnungsmethoden generieren, welche je nach Bemessungssituation bis zu 15% ausmachen können. Dies ist jedoch nur in sehr wenigen Ausnahmefällen aus statischer Sicht erforderlich.

Auch unter dem Aspekt des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit ist die Anwendung der vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA anstelle des allgemeinen Verfahrens nach DIN EN 1996-1-1/NA zu empfehlen: Wird nämlich der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit den vereinfachten Berechnungsmethoden geführt (und werden die Ausführungsregeln nach DIN EN 1996-2/NA [16, 17] eingehalten), darf ohne weiteren Nachweis, wie z. B. dem der Begrenzung der Exzentrizität (DIN EN 1996-1-1/NA; NCI zu 7.2; NA.6 [14]) die Gebrauchstauglichkeit als erfüllt angesehen werden.

**5 Tragfähigkeit von Innenwänden (sowie zweischaliger und zusatzgedämmter Außenwände) aus Leichtbetonmauerwerk**

Die Ermittlung der Tragfähigkeit von Innenwänden sowie zweischaliger und zusatzgedämmter Außenwände erfolgt

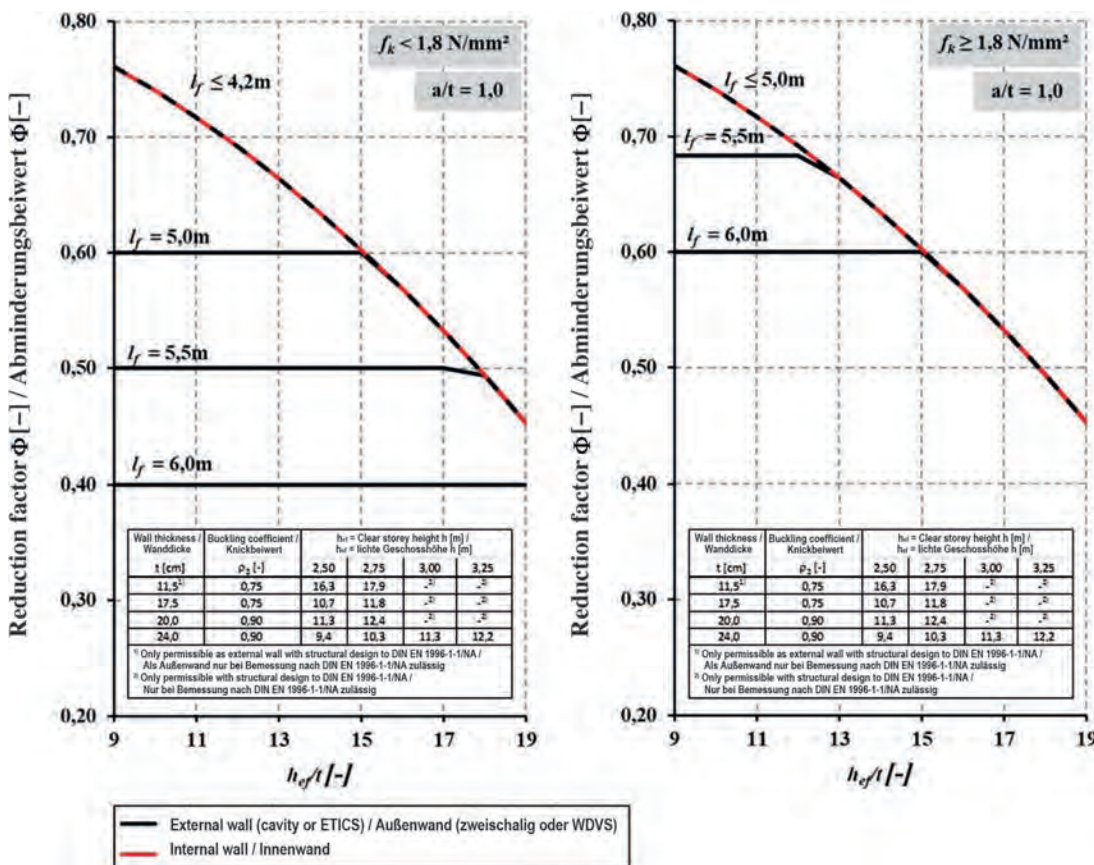


Fig. 10. Decisive capacity reduction factor  $\Phi$  according to DIN EN 1996-3/NA of internal walls, cavity walls and insulated walls  
 Bild 10. Maßgebender Abminderungsbeiwert  $\Phi$  nach DIN 1996-3/NA für Innenwände, zweischalige and zusatzgedämmte Außenwände

Table 2. Tabulated values for calculation of the vertical resistance  $n_{Rd}$  [kN/m] of inside walls, cavity walls and insulated walls according to DIN EN 1996-3/NA

Table 2. Tabellenwerte zur Berechnung der zulässigen Normalkraft  $n_{Rd}$  [kN/m] von Innenwänden, zweischaligen und zusatzgedämmten Außenwänden nach DIN EN 1996-3/NA

Wall thickness t / Wanddicke t	Clear wall height h / Lichte Wandhöhe h	Internal wall / Innenwand	External wall a/t = 1.0 / Außenwand a/t = 1,0			
			Slab span lf [m] / Deckenspannweite lf [m]			
			4.5	5.0	5.5	6.0
[cm]	[m]					
11.5	≤ 2.50	36	36			
15.0		57	57			51
17.5		71	71	67	59	
20.0		80	80	77	68	
24.0		102	102	92	81	
11.5	≤ 2.75	32	32			
15.0		54	54			51
17.5		69	69	67	59	
20.0		77	77	77	68	
24.0		99	99	92	81	
24.0	≤ 3.00	96	not permissible with the simplified procedure since $h > 12 \cdot t$ / im vereinfachten Verfahren nicht zulässig, da $h > 12 \cdot t$			
24.0	≤ 3.25	93				
24.0	≤ 3.50	89				
<b>Loadbearing capacity <math>n_{Rd} = \text{table value} \cdot f_k</math> [N/mm<sup>2</sup>] /</b> <b>Tragfähigkeit <math>n_{Rd} = \text{Tabellenwert} \cdot f_k</math> [N/mm<sup>2</sup>]</b>						

effect of rotation of the slabs can normally be neglected for internal walls. The decisive reduction factor  $\Phi$  according to DIN EN 1996-3/NA for internal walls as well as cavity and additionally insulated external walls is illustrated in Fig. 10. In contrast to monolithic external walls, slenderness has a much greater influence on the reduction factor according to DIN EN 1996-3/NA.

Table 2 shows values, with which the loadbearing capacity of internal walls to both cavity and additionally insulated external walls according to DIN EN 1996-3/NA depending on the wall thickness, the clear storey height  $h$  and the slab span can be rapidly determined. The permissible normal force  $n_{Rd}$  [kN/m] is given by multiplying the table value with the characteristic compressive strength  $f_k$  [N/mm<sup>2</sup>].

For this application area, the lightweight concrete industry offers both normal format and also large format precision blocks with raw density classes of up to 2.4 and  $f_k$ -values of up to 10.0 N/mm<sup>2</sup>, with which all structural requirements for the building of apartment blocks can be fulfilled without problems and which can also show the best-possible sound insulation properties of all massive masonry building materials, see [10].

## 6 Further verifications

### 6.1 Verification of shear load

In usual high-rise buildings, which fulfil the scope of application of the simplified procedure according to DIN EN 1996-3/NA, verification of shear loadbearing capacity is not usually necessary. This applies both to all masonry walls under shear loading parallel to the walls, which serve to stiffen the building, and also for external walls

analog zur Ermittlung der Tragfähigkeit nach Abschnitt 4, nur mit dem Unterschied, dass die Decken vollständig auf den Wänden aufliegen ( $a/t = 1,0$ ) und bei Innenwänden der Einfluss infolge der Verdrehung der Decken in der Regel vernachlässigt werden kann. Der maßgebende Abminderungsbeiwert  $\Phi$  nach DIN EN 1996-3/NA für Innenwände sowie zweischalige und zusatzgedämmte Außenwände ist in Bild 10 dargestellt. Im Gegensatz zu monolithischen Außenwänden hat die Schlankheit einen deutlich größeren Einfluss auf den Abminderungsbeiwert nach DIN EN 1996-3/NA.

In Tabelle 2 sind Tafelwerte angegeben, mit denen sich die Tragfähigkeit von Innenwänden sowie zweischaligen und zusatzgedämmten Außenwänden nach DIN EN 1996-3/NA in Abhängigkeit von der Wanddicke  $t$ , der lichten Geschosshöhe  $h$  sowie der Deckenspannweite schnell bestimmen lässt. Die zulässige Normalkraft  $n_{Rd}$  [kN/m] ergibt sich durch Multiplikation des Tafelwertes mit der charakteristischen Druckfestigkeit  $f_k$  [N/mm<sup>2</sup>].

Für diesen Einsatzbereich bietet die Leichtbetonindustrie sowohl normalformatige, als auch großformatige Plansteine mit Rohdichteklassen bis zu 2,4 und  $f_k$ -Werten bis zu 10,0 N/mm<sup>2</sup> an, mit denen sich alle statischen Anforderungen im Geschossbau problemlos erfüllen lassen und welche darüber hinaus noch die bestmöglichen Schallschutzkennwerte aller massiven Mauerwerksbaustoffe vorzuweisen haben, siehe [10].

## 6 Weitere Nachweise

### 6.1 Nachweis der Querkraftbeanspruchung

Bei üblichen Hochbauten, welche den Anwendungsbereich des vereinfachten Verfahrens nach DIN EN 1996-3/NA er-

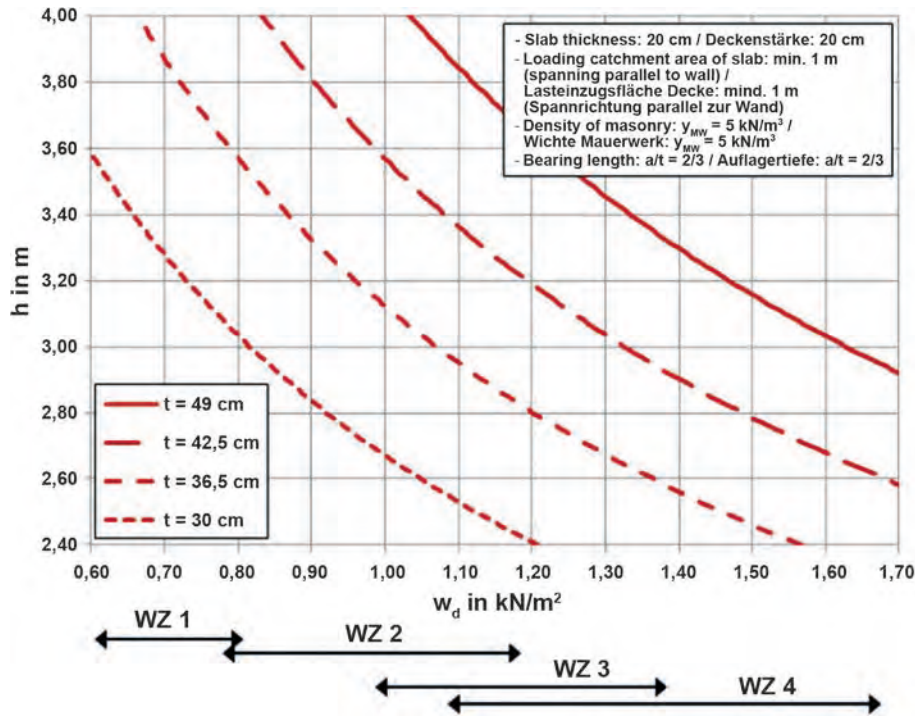


Fig. 11. Maximum height of walls as a function of the wind load [19]  
 Bild 11. Maximale Wandhöhe in Abhängigkeit von der Bemessungswindlast [19]

under shear loading perpendicular to the wall, since the resistance of wind loading is constructively covered for building heights  $\leq 20 \text{ m}$ . The precondition of the omission of the calculated stiffening verification is however that a clearly sufficient number of adequately long wall panels is available to stiffen the building.

## 6.2 Verification of minimum applied load

For walls, which serve as the end bearing for slabs or roofs and are subjected to wind loading, the minimum applied load has to be verified according to DIN EN 1996-3/NA/A2 [18]. Fig. 11 shows the permissible maximum wall height  $h$  depending on the prevailing design wind load  $w_d$  and wall thickness  $t$  for a relative slab bearing length  $a/t = 2/3$ . It is clear that in wind zones (WZ) 1 and 2 away from coasts, the usual storey heights in practice can be implemented without problems. Verification of the minimum load can therefore normally be omitted in these wind zones for all external walls of lightweight concrete masonry.

## 6.3 Sound insulation

The factors with a decisive influence on the sound insulation properties of a building material are its mass per area and the bending stiffness. The coarse pore structure due to the aggregates used in production, such as cinder or expanded clay, give lightweight concrete an advantage here (+2 dB) in comparison with other massive walling blocks. Its porous consistency with numerous air inclusions ensures good internal damping of sound energy. The corresponding verification can be carried out as a supplement to DIN 4109 for highly insulated monolithic products of lightweight concrete according to the national technical approval No. Z-17.1-2095 [20]. For detailed information about sound insulation with lightweight concrete masonry, reference is made here to [10].

füllen, ist ein Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in der Regel nicht erforderlich. Dies gilt sowohl für alle Mauerwerkswände unter Scheibenschub, welche der Gebäudeaussteifung dienen, als auch für Außenwände unter Plattenschub, da die Aufnahme von Windeinwirkungen bei Gebäudehöhen  $\leq 20 \text{ m}$  konstruktiv abgedeckt ist. Voraussetzung für den Entfall des rechnerischen Aussteifungsnachweises ist jedoch, dass für die Gebäudeaussteifung eine offensichtlich ausreichende Anzahl genügend langer Wandscheiben vorhanden ist.

## 6.2 Nachweis der Mindestauflast

Für Wände, die als Endauflager für Decken oder Dächer dienen und durch Wind beansprucht werden, ist nach DIN EN 1996-3/NA/A2 [18] ein Nachweis der Mindestauflast der Wände zu führen. In Bild 11 ist die zulässige maximale Wandhöhe  $h$  in Abhängigkeit von der vorhandenen Bemessungswindlast  $w_d$  und Wanddicke  $t$  für eine bezogene Deckenaufлагertiefe  $a/t = 2/3$  aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass in den Windzonen (WZ) 1 und 2 im Binnenland die praxisüblichen Geschosshöhen problemlos realisiert werden können. Der Nachweis der Mindestauflast kann daher in diesen Windzonen für alle Außenwände aus Leichtbetonmauerwerk in der Regel entfallen.

## 6.3 Schallschutz

Entscheidenden Einfluss auf die schalldämmenden Eigenschaften eines Baustoffs haben seine flächenbezogene Masse sowie seine Biegesteifigkeit. Die grobporige Struktur durch die bei der Produktion verwendeten Zuschläge, wie Bims und Blähton, verschaffen Leichtbeton einen Vorteil (+2 dB) gegenüber anderen massiven Mauerwerkssteinen. So sorgt seine poröse Beschaffenheit mit zahlreichen Lufteinschlüssen für eine hohe innere Dämpfung der Schallenergie. Der entsprechende Nachweis kann ergän-

## 7 Fire protection in residential building

### 7.1 Fire safety requirements of state building codes

Most German state building codes differentiate based on the national model building code MBO [21] in the specification of requirements for usual masonry buildings, i.e. under the high-rise threshold of 22 m, according to 5 building classes GK, see Table 3.

For buildings with more than 2 residential units, a difference is thus made depending on the height of the floor of the uppermost inhabited room between buildings of GK 3 (up to 7 m), GK 4 (up to 13 m) and GK 5 (13 to 22 m).

Depending on these building classes GK, the individual state building codes pose requirements for the relevant building elements of a building (walls, columns, firewalls, stairs, stair rooms etc.). Table 4 collects the fire resistance classes according to the MBO for loadbearing walls and columns. Of the federal states listed in Table 3, Bavaria, North Rhine Westphalia and Hessen have taken over the guidelines of the MBO. Only the state building code (LBO) of Rheinland-Pfalz differs in parts from the MBO.

### 7.2 Verification of fire resistance according to DIN EN 1996-1-2/NA

The verification of constructional fire protection of masonry is carried out according to DIN EN 1996-1-2 [22] in combination with the relevant National Annex [23]. The wall thicknesses required for categorisation into fire resistance classes are based on Annex B of DIN EN 1996-1-2/NA are given in the relevant national technical approval (abZ) or general construction technique permit (aBG) depending on the utilisation factors  $\alpha_{fi}$ .

The utilisation factor (ratio of applied design load to the design resistance)  $\alpha_{fi} = 0.7$  corresponds, considering the design value of the acting normal force in case of fire with  $N_{Ed,fi} = 0.7 \cdot N_{Ed}$ , to full utilisation in the cold design according to DIN EN 1996-1-1/NA, thus in other words the “former”  $\alpha_2 = 1.0$ . For the classification into fire resistance classes, it is therefore particularly important to note that for example an  $\alpha_{fi}$ -value of 0.35 means a maximum permissible utilisation in the cold design of 50% and not 35%!

Should the design according to DIN EN 1996-3/NA slightly exceed the utilisation factor given in the approval, it may be worth – before an extensive redesign – as a first measure determining the loadbearing capacity  $N_{Rd}$  according to DIN EN 1996-1-1/NA, which may somewhat reduce the prevailing utilisation factor. However in this case the verifications at the limit state of serviceability as already mentioned in Section 4.3 have to be additionally performed.

## 8 Design recommendations for multi-storey buildings with monolithic external walls

### 8.1 General

The fact that monolithic external walls have comparatively low characteristic compressive strengths compared to internal walls, cavity and externally insulated walls should be paid attention in the design of multi-storey residential

zend zu DIN 4109 für hochwärmedämmende monolithische Produkte aus Leichtbeton nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-17.1-2095 [20] erfolgen. Für ausführliche Informationen zum Schallschutz mit Leichtbetonmauerwerk wird auf [10] verwiesen.

## 7 Baulicher Brandschutz im Wohnungsbau

### 7.1 Brandschutztechnische bauaufsichtliche Anforderungen

Die meisten Landesbauordnungen unterscheiden in Anlehnung an die MBO [21] bei der Festlegung von Anforderungen im Bereich von üblichen Mauerwerksbauten, d.h. unterhalb der Hochhausgrenze von 22 m, nach 5 Gebäudeklassen, siehe Tabelle 3.

Bei Gebäuden mit mehr als 2 Wohneinheiten unterscheidet man somit in Abhängigkeit von der Höhe des Fußbodens der obersten Aufenthaltsräume zwischen Gebäuden der GK 3 (bis 7 m), GK 4 (bis 13 m) und GK 5 (13 bis 22 m).

In Abhängigkeit von den Gebäudeklassen legen die einzelnen Bauordnungen Anforderungen an die jeweiligen Bauteile eines Gebäudes (Wände, Stützen, Brandwände, Decken, Treppenträume etc.) fest. In Tabelle 4 sind die gemäß MBO geforderten Feuerwiderstandsklassen für tragende Wände und Stützen zusammengestellt. Von den in Tabelle 3 aufgeführten Bundesländern haben Bayern, Nordrhein-Westfalen und Hessen die Vorgaben der MBO übernommen. Lediglich die Landesbauordnung (LBO) von Rheinland-Pfalz weicht in Teilen von der MBO ab.

### 7.2 Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit nach DIN EN 1996-1-2/NA

Der Nachweis des baulichen Brandschutzes erfolgt für Mauerwerk gemäß DIN EN 1996-1-2 [22] in Verbindung mit dem zugehörigen Nationalen Anhang [23]. Die brandschutztechnisch erforderlichen Wanddicken zur Einstufung in Feuerwiderstandsklassen sind in Anlehnung an Anhang B von DIN EN 1996-1-2/NA in den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) bzw. allgemeinen Bauartgenehmigungen (aBG) in Abhängigkeit von Ausnutzungsfaktoren  $\alpha_{fi}$  angegeben.

Der Ausnutzungsfaktor  $\alpha_{fi} = 0,7$  entspricht unter Berücksichtigung des Bemessungswertes der einwirkenden Normalkraft im Brandfall mit  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Ed}$  der vollen Ausnutzung bei der Kaltbemessung nach DIN EN 1996-1-1/NA, mit anderen Worten also dem „früheren“  $\alpha_2 = 1,0$ . Bei der Einstufung in Feuerwiderstandsklassen ist es somit besonders wichtig zu beachten, dass z. B. ein  $\alpha_{fi}$ -Wert von 0,35 eine maximal zulässige Ausnutzung bei Kaltbemessung von 50% bedeutet und nicht 35%!

Sollte bei der Bemessung nach DIN EN 1996-3/NA der in der Zulassung angegebene Ausnutzungsfaktor etwas überschritten werden, lohnt sich ggf. – vor weitgreifenden Umplanungen – als erste Maßnahme die Ermittlung der Tragfähigkeit  $N_{Rd}$  nach DIN EN 1996-1-1/NA, wodurch sich der vorhandene Ausnutzungsfaktor ggf. etwas reduziert. Allerdings sind in diesem Fall die bereits in Abschnitt 4.3 angesprochenen Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zusätzlich zu führen.

Table 3. Building classes according to MBO [21] and selected LBO

GK	MBO	Rheinland-Pfalz	North Rhine Westphalia	Hessen	Bavaria
1	a) Free-standing building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m and not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> and b) free-standing building with agricultural or forestry use.	a) Free-standing residential building with one apartment in not more than two storeys, b) other free-standing building of similar size, c) free-standing agricultural operational building.	a) Free-standing building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m and not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> and b) free-standing building with agricultural or forestry use and buildings with comparable use.	a) Free-standing building up to 7 m Höhe <sup>1)</sup> with not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> plan area and b) free-standing building with agricultural or forestry use.	a) Free-standing building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m and not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> and b) building with agricultural or forestry use.
2	Building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m and not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> .	Building, of which the floor level on no storey, in which occupation is possible, is on average more than 7 m above ground level, a) with not more than two apartments, b) with three apartments in free-standing buildings situated on a slope, if the third apartment is in the bottom floor and has its access immediately from outside. Other units can take the place of each of the apartments, if the usable area of the building does not exceed altogether 400 m <sup>2</sup> .	Building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m and not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> .	Building up to 7 m height <sup>1)</sup> with not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> plan area.	Building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m and not more than two units of altogether not more than 400 m <sup>2</sup> .
3	Other building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m.	Building, of which the floor of no storey, in which occupation is possible, is on average more than 7 m above ground level.	Other building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m.	Other building up to 7 m height <sup>1)</sup> .	Other building with a height <sup>1)</sup> up to 7 m.
4	Building with a height <sup>1)</sup> up to 13 m and units each with not more than 400 m <sup>2</sup> .	Building, in which the floor of no storey, in which occupied rooms are possible, are on average more than 13 m above ground level.	Building with a height <sup>1)</sup> up to 13 m and units each with not more than 400 m <sup>2</sup> .	Building up to 13 m height <sup>1)</sup> and units each with not more than 400 m <sup>2</sup> ground area in one storey.	Building with a height <sup>1)</sup> up to 13 m and units each with not more than 400 m <sup>2</sup> .
5	Other building including underground building.	Other building.	Other building including underground building.	Other building including underground building.	Other building including underground building.
	<sup>1)</sup> Height is the size of the floor level of the highest floor, in which occupation is possible, over ground level on average.  Occupied rooms are those, which are intended or suitable for not temporary occupation by people.	Occupied rooms are those, which are intended or suitable for not temporary occupation by people.	<sup>1)</sup> Height is the size of the floor level of the highest floor, in which occupation is possible, over ground level on average.  Occupied rooms are those, which are intended or suitable for not temporary occupation by people.	<sup>1)</sup> Height is the dimension of the structural floor level of the highest storey, in which an occupied room is present or possible, above ground level on average.  Occupied rooms are those, which are intended or suitable for not temporary occupation by people.	<sup>1)</sup> Height is the size of the floor level of the highest floor, in which occupation is possible, over ground level on average.  Occupied rooms are those, which are intended or suitable for not temporary occupation by people.

Tabelle 3. Gebäudeklassen nach MBO [21] und ausgewählten LBO

GK	MBO	Rheinland-Pfalz	Nordrhein-Westfalen	Hessen	Bayern
1	a) Freistehende Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> sowie b) freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude.	a) Freistehende Wohngebäude mit einer Wohnung in nicht mehr als zwei Geschossen, b) andere freistehende Gebäude ähnlicher Größe, c) freistehende landwirtschaftliche Betriebsgebäude.	a) Freistehende Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> sowie b) freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude und Gebäude vergleichbarer Nutzung.	a) Freistehende Gebäude bis zu 7 m Höhe <sup>1)</sup> mit nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> Grundfläche sowie b) freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude.	a) Freistehende Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> sowie b) land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude.
2	Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .	Gebäude, bei denen der Fußboden keines Geschosses, in dem Aufenthaltsräume möglich sind, im Mittel mehr als 7 m über der Geländeoberfläche liegt, a) mit nicht mehr als zwei Wohnungen, b) mit drei Wohnungen in freistehenden Gebäuden in Hanglage, wenn die dritte Wohnung im untersten Geschoss liegt und ihren Zugang unmittelbar vom Freien aus hat. An die Stelle der Wohnungen können jeweils sonstige Nutzungseinheiten treten, wenn die Nutzfläche des Gebäudes insgesamt 400 m <sup>2</sup> nicht überschreitet.	Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .	Gebäude bis zu 7 m Höhe <sup>1)</sup> mit nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> Grundfläche.	Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .
3	Sonstige Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m.	Gebäude, bei denen der Fußboden keines Geschosses, in dem Aufenthaltsräume möglich sind, im Mittel mehr als 7 m über der Geländeoberfläche liegt.	Sonstige Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m.	Sonstige Gebäude bis zu 7 m Höhe <sup>1)</sup> .	Sonstige Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 7 m.
4	Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .	Gebäude, bei denen der Fußboden keines Geschosses, in dem Aufenthaltsräume möglich sind, im Mittel mehr als 13 m über der Geländeoberfläche liegt.	Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .	Gebäude bis zu 13 m Höhe <sup>1)</sup> und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> Grundfläche in einem Geschoss.	Gebäude mit einer Höhe <sup>1)</sup> bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .
5	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude.	Sonstige Gebäude.	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude.	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude.	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude.
	<sup>1)</sup> Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.  Aufenthaltsräume sind Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt oder geeignet sind.		<sup>1)</sup> Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.  Aufenthaltsräume sind Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt oder geeignet sind.	<sup>1)</sup> Höhe ist das Maß der Oberkante des Rohfußbodens des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum vorhanden oder möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.  Aufenthaltsräume sind Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt oder geeignet sind.	<sup>1)</sup> Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.  Aufenthaltsräume sind Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt oder geeignet sind.



Table 4. Fire resistance classes of loadbearing walls and columns according to MBO [21] and selected LBO  
 Tabelle 4. Erforderliche Feuerwiderstandsklassen von tragenden Wänden und Stützen nach MBO [21] und ausgewählten LBO

GK / GK	Storey / Geschoss	MBO, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Bayern	Rheinland-Pfalz
1	Storeys in roof space / Geschosse im Dachraum	no requirement / keine Anforderung	no requirement / keine Anforderung
	Normal storeys / Normalgeschosse	no requirement / keine Anforderung	no requirement / keine Anforderung
	Basement / Kellergeschoss	F 30-B	no requirement / keine Anforderung
2	Storeys in roof space / Geschosse im Dachraum	F 30-B, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen	F 30-B, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen
	Normal storeys / Normalgeschosse	F 30-B	F 30-AB in the lowest storey with a third apartment, otherwise F 30-B / F 30-AB im untersten Geschoss mit einer dritten Wohnung, sonst F 30-B
	Basement / Kellergeschoss	F 30-B	F 30-B
3	Storeys in roof space / Geschosse im Dachraum	F 30-B, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen	F 30-B, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen
	Normal storeys / Normalgeschosse	F 30-B	F 30-B
	Basement / Kellergeschoss	F 90-AB	F 90-AB
4	Storeys in roof space / Geschosse im Dachraum	F 60-BA or F 60-AB, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / F 60-BA oder F 60-AB, wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen	F 60-BA or F 60-AB, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / F 60-BA oder F 60-AB, wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen
	Normal storeys / Normalgeschosse	F 60-BA or F 60-AB / F 60-BA oder F 60-AB	F 60-BA or F 60-AB / F 60-BA oder F 60-AB
	Basement / Kellergeschoss	F 90-AB	F 90-AB
5	Storeys in roof space / Geschosse im Dachraum	F 90-AB, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen	F 90-AB, if still more occupied rooms are possible above it, otherwise no requirement / wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderungen
	Normal storeys / Normalgeschosse	F 90-AB	F 90-AB
	Basement / Kellergeschoss	F 90-AB	F 90-AB

buildings. The following suggestions should help to minimise loading on monolithic external walls from the start, or to show how an isolated case with “excessive” vertical loads can be dealt with.

## 8 Planungsempfehlungen für Geschossbauten mit monolithischen Außenwänden

### 8.1 Allgemeines

Dem Umstand, dass monolithische Außenwände im Vergleich zu Innenwänden, zweischaligen und zusatzgedämmten Außenwänden verhältnismäßig geringe charakteristi-



Fig. 12. Examples of favourable (a) and unfavourable (b) openings in external walls and the use of products with higher compressive strength in highly stressed areas

Bild 12. Beispiele für günstige (a) and ungünstige (b) Anordnung von Öffnungen in Außenwänden sowie Einsatz von höherfesten Produkten in hochbeanspruchten Teilbereichen (rechts)

### 8.2 Fewest possible beam effects/openings

Loadbearing walls and pillars and larger openings should be placed above one another in successive storeys in order that continuous load transfer is ensured. Fig. 12 shows that this is however often not achievable for architectural reasons.

### 8.3 Building of areas with stronger or thicker products

If specific areas are more highly stressed, e.g. short pillars and columns next to large window areas and large spans, then it is recommended to use lightweight concrete masonry with rather higher compressive strength or additionally insulated lightweight concrete masonry in this area (see Fig. 12 b). It may also be necessary to build an entire (lower) floor with thicker walls of stronger products. It has meanwhile proved successful, for example for multi-storey buildings with a row of shops in the ground floor, to build the ground floor in reinforced concrete or additionally insulated masonry and the upper floors with monolithic lightweight concrete masonry.

### 8.4 Vertical load transfer through internal walls / cross-wall layout if possible

In order to relieve the external walls as much as possible, vertical load transfer should preferably be through internal walls. The ideal layout here is the so-called cross-wall layout, in which the slabs span parallel to the external walls, cf. Fig. 13.

### 8.5 Provision of loadbearing instead of non-loadbearing internal walls

Since load transfer through the internal walls is of great importance for the relief of the external walls, building of loadbearing internal walls instead of non-loadbearing internal walls is always to be recommended. In addition to the negative effects on load transfer, it should also be noted

sche Druckfestigkeiten aufweisen, sollte schon bei der Planung von Geschosswohnungsbauten Rechnung getragen werden. Die nachfolgenden Hinweise sollen dazu beitragen, die Belastung von monolithischen Außenwänden von vornherein zu minimieren, bzw. aufzeigen, wie im Einzelfall mit „zu hohen“ vertikalen Lasten umzugehen ist.

### 8.2 Möglichst wenig Abfangungen/Öffnungen

Tragende Wände und Pfeiler sowie größere Öffnungen sollten geschossweise weitestgehend übereinander angeordnet sein, damit ein durchgängiger Lastabtrag gewährleistet ist. Bild 12 zeigt, dass dies aus architektonischen Gründen oftmals jedoch nicht umsetzbar ist.

### 8.3 Ausführung von Teilbereichen mit höherfesten oder dickeren Produkten

Liegen höher beanspruchte Bereiche vor, z. B. kurze Pfeiler und Stützen neben großen Fensterflächen und großen Spannweiten, so empfiehlt es sich, für diesen Bereich auf Leichtbetonmauerwerk mit etwas höherer Druckfestigkeit oder zusätzlich gedämmtes Leichtbetonmauerwerk zurückzugreifen (siehe Bild 12 b). Ggf. kann auch ein komplettes (unteres) Geschoss entweder mit dickeren Wänden oder aber mit höherfesten Produkten ausgeführt werden. So hat es sich zum Beispiel bei Geschosswohnungsbauten mit Ladenzeilen im Erdgeschoss mittlerweile bewährt, das Erdgeschoss in Stahlbetonbauweise bzw. zusätzlich gedämmtem Mauerwerk auszuführen und die darüberliegenden Wohngeschosse mit monolithischem Leichtbetonmauerwerk auszuführen.

### 8.4 Vertikaler Lastabtrag möglichst über Innenwände / Schottenbauweise

Um die Außenwände möglichst zu entlasten, sollte der vertikale Lastabtrag vornehmlich über die Innenwände erfolgen. Ideal ist in diesem Zusammenhang die sogenannte Schottenbauweise, bei der die Spannrichtung der Decken parallel zu den Außenwänden verläuft, vgl. Bild 13.

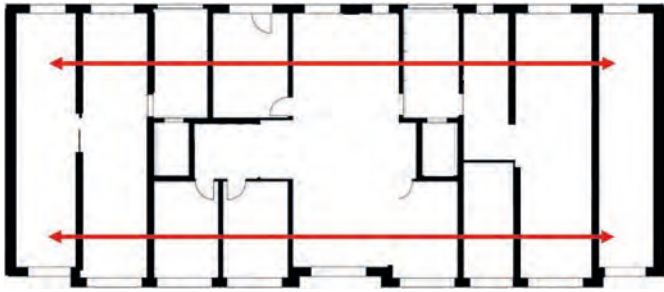


Fig. 13. Example of cross-wall construction  
Bild 13. Beispiel Schottenbauweise (Lastabtrag parallel zu den stark gegliederten Außenwänden)

that non-loadbearing internal walls lead to more design work, sub-division into wall sections shorter than 6 m and sometimes to much more elaborate details and junction layouts. Walls that have to be there “in any case” should thus always (also for cost reasons) be specified as loadbearing, which also improves the stiffening of a building and limits slab deflection.

### 8.6 Provide a favourable structural system for the upper floors

Upper floors spanning in two directions should usually be preferred to spanning in one direction. If however there is a wall section, which is already heavily loaded from floors above it, then it can be better to provide one-directional spanning parallel to this wall section. In this case, only a 1 m wide strip of the slab has to be considered for load determination.

### 8.7 Optimise the bearing lengths of slabs

Concerning the bearing length  $a$  of the slabs on the external walls, a relative bearing length of  $a/t = 2/3$  has proved successful since this ensures equivalence with DIN 4108, Supplement 2 and thus enables for the designer simplified lump sum consideration of the thermal bridging losses with  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . In order to optimise the loadbearing capacity of external walls in multi-storey buildings, it is recommended to increase the relative bearing length to  $a/t = 0,80$  or  $0,85$  if required. The resulting increase of loadbearing capacity was sufficiently demonstrated in Sections 3.5 and 4.2. Until the new Supplement 2 of DIN 4108 is published, however, it should be noted that such an increase of the slab bearing length makes detailed investigation of the thermal bridge losses necessary as part of the design (see Section 3.2).

### 8.8 Rounding of FEM stress peaks

At corners and edges of walls and columns under slab panels modelled with FEM, there are singularities, which depending on the fineness of the FE mesh can lead to stress peaks. The finer the mesh, the higher are the stresses shown at these locations. The most commonly practiced method of countering such stress peaks, in addition to permitting transverse contraction and material plasticity, is rounding, or the “homogenisation” of a certain area.

## 8.5 Ausführung von tragenden statt nichttragenden Innenwänden

Da der Lastabtrag über die Innenwände von erheblicher Bedeutung für die Entlastung der Außenwände ist, ist die Ausführung von tragenden Innenwänden gegenüber nichttragenden Innenwänden stets zu empfehlen. Neben dem negativen Effekt auf den Lastabtrag ist des Weiteren zu beachten, dass nichttragende Wände einen höheren Planungsaufwand, eine Unterteilung in Wandabschnitte kleiner als 6 m sowie eine zum Teil deutlich aufwändigere Detail- bzw. Anschlussausbildung zur Folge haben. „Sowieso“-Wände sollten daher stets (auch aus Kostengründen) tragend ausgebildet werden, was zudem die Gebäudeaussteifung verbessert und die Deckenverformung begrenzt.

## 8.6 Günstiges statisches System für die Geschossdecken vorsehen

Der zweiachsige Lastabtrag von Geschossdecken ist gegenüber dem einachsigen Lastabtrag in der Regel zu bevorzugen. Liegt jedoch ein Wandabschnitt vor, der ohnehin schon infolge darüberliegender Geschosse stark belastet ist, so kann es ggf. günstiger sein, einen einachsigen Lastabtrag parallel zu diesem Wandabschnitt vorzusehen. In diesem Fall ist lediglich ein 1 m breiter Deckenstreifen bei der Lastermittlung zu berücksichtigen.

## 8.7 Auflagertiefe der Decken optimieren

Hinsichtlich der Auflagertiefe  $a$  der Decken auf den Außenwänden hat sich in der Vergangenheit eine bezogene Auflagertiefe  $a/t = 2/3$  bewährt, da diese eine Gleichwertigkeit mit DIN 4108, Beiblatt 2 sicherstellt und dem Planer damit eine vereinfachte pauschale Berücksichtigung der Wärmebrückenverluste mit  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ermöglicht. Zur Optimierung der Tragfähigkeit von Außenwänden im Geschosswohnungsbau wird empfohlen, sofern erforderlich, die bezogene Deckenaufлагertiefe auf  $a/t = 0,80$  bzw.  $0,85$  zu vergrößern. Die daraus resultierende Steigerung der Tragfähigkeit wurde in den Abschnitten 3.5 und 4.2 hinreichend aufgezeigt. Bis zum Erscheinen des neuen Beiblatts 2 von DIN 4108 ist jedoch zu beachten, dass eine derartige Vergrößerung der Deckenaufлагertiefe eine detaillierte Erfassung der Wärmebrückenverluste bei der Planung erforderlich macht (siehe Abschnitt 3.2).

## 8.8 Ausrunden von FEM-Spannungsspitzen

An Ecken und Rändern von Wänden und Stützen unter mit FEM modellierten Deckenscheiben liegen Singularitäten vor, wodurch es in Abhängigkeit der Feinheit des FE-Netzes zu Spannungsspitzen kommt. Je feiner das Netz, desto höher sind die an diesen Stellen ausgewiesenen Spannungen. Gängigste Abhilfe gegen derartige Spannungsspitzen ist neben dem Zulassen von Querkontraktionen und Materialplastizität das Ausrunden, also das „Vergleichmäßigen“ über einen bestimmten Bereich.

## 9 Description of the performance in multi-storey building

### 9.1 General

Based on the loadbearing capacities determined in the previous sections, these are compared below to the usual actions in multi-storey building. Since the structural verification of internal walls is not normally a problem due to the high characteristic compressive strength of the masonry, only the performance of monolithic external walls is dealt with.

### 9.2 Estimation of the vertical loads acting on monolithic external walls

The persistent load on a floor slab is assumed in the following to be  $g_k = 7.0 \text{ kN/m}^2$  and the transient load on the slab (service load and partition supplement) is assumed to be  $q_k = 2.7 \text{ kN/m}^2$ . This gives a design load of  $q_{Ed} \approx 13.5 \text{ kN/m}^2$ . If we assume the least favourable case of a slab spanning in one direction with a span of  $l_f = 6 \text{ m}$ , then this gives a load catchment area of 3 m per running metre for the external wall providing the support and thus a design value of  $n_{Ed} \approx 50 \text{ kN/m}$  per floor slab above the external wall to be verified (including 10 kN/m self weight of the wall). Depending on the degree of window openings in the external wall, the design value has to be correspondingly increased (20% window openings:  $n_{Ed} = 62.5 \text{ kN/m}$ ; 25%:  $n_{Ed} = 66.5 \text{ kN/m}$ ; 30%:  $n_{Ed} = 71.0 \text{ kN/m}$ ; 50%:  $n_{Ed} = 100.0 \text{ kN/m}$ ). This shows that the share of window openings has an influence on the loading on external walls that should not be underestimated.

Since a slab spanning in one direction with a span of 6.0 m is at best an exception and walls/pillars next to larger openings have to be separately considered in any case (and perhaps being built of stronger material, see Section 8.3), a design load of  $n_{Ed} = 50 \text{ kN/m}$  on each floor slab above the wall to be verified is used for the evaluation of the performance of monolithic masonry in the following considerations.

### 9.3 Comparison of load capacity and action

If the loadbearing capacities that can be resisted as described in Section 4.2 are compared with the range of values of the acting vertical load per storey (and roof floor) above the wall to be designed, then it turns out that two full storeys (under very favourable constraints even three full storeys) can already be built from an  $f_k$ -value of  $0.9 \text{ N/mm}^2$ , see Fig. 14. With increasing  $f_k$ -values, the number of achievable storeys increases with the corresponding structural design to up to 6 full storeys for an  $f_k$ -value of  $2.5 \text{ N/mm}^2$ .

## 10 Summary and conclusion

Masonry of lightweight concrete blocks is in a position to fulfil all required demands posed for apartment buildings. Of particular significance here is the detail of the external wall-slab junction, since this detail not only has to meet structural requirements but also aspects of thermal insulation, sound insulation and fire safety. With the appropriate structural design in accordance with the recommendations given in this article, multi-storey buildings can also nor-

## 9 Darstellung der Leistungsfähigkeit im Geschosswohnungsbau

### 9.1 Allgemeines

Basierend auf den in den vorherigen Abschnitten ermittelten Tragfähigkeiten werden diese im Folgenden den üblichen Einwirkungen im Geschosswohnungsbau gegenübergestellt werden. Da der statische Nachweis von Innenwänden aufgrund der hohen charakteristischen Druckfestigkeiten des Mauerwerks in der Regel kein Problem darstellt, wird dabei ausschließlich auf die Leistungsfähigkeit von monolithischen Außenwänden eingegangen.

### 9.2 Abschätzung der einwirkenden vertikalen Lasten auf monolithische Außenwände

Die ständige Last einer Geschossdecke wird nachfolgend mit  $g_k = 7,0 \text{ kN/m}^2$  und die veränderliche Last auf der Decke (Nutzlast und Trennwandzuschlag) mit  $q_k = 2,7 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Damit ergibt sich eine Bemessungslast von  $q_{Ed} \approx 13,5 \text{ kN/m}^2$ . Geht man im ungünstigsten Fall von einer einachsigen gespannten Decke mit einer Spannweite  $l_f = 6 \text{ m}$  aus, so resultiert daraus eine Einzugsfläche von 3 m pro laufenden Meter für die als Auflager dienende Außenwand und somit ein Bemessungswert von  $n_{Ed} \approx 50 \text{ kN/m}$  pro Geschossdecke oberhalb der nachzuweisenden Außenwand (inklusive 10 kN/m Eigenlast der Wand). In Abhängigkeit von dem Fensterflächenanteil der Außenwand ist dieser Bemessungswert noch entsprechend zu erhöhen (Fensterflächenanteil 20%:  $n_{Ed} = 62,5 \text{ kN/m}$ ; 25%:  $n_{Ed} = 66,5 \text{ kN/m}$ ; 30%:  $n_{Ed} = 71,0 \text{ kN/m}$ ; 50%:  $n_{Ed} = 100,0 \text{ kN/m}$ ). Es zeigt sich, dass der Fensterflächenanteil einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Belastung von Außenwänden hat.

Da eine einachsige gespannte Decke mit einer Spannweite von 6,0 m allenfalls die Ausnahme dargestellt und Wände/Pfeiler neben größeren Öffnungen ohnehin gesondert zu betrachten sind (ggf. Ausführung in höherfesten Baustoffen, siehe Abschnitt 8.3), wird für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von monolithischem Mauerwerk im Folgenden eine Bemessungslast  $n_{Ed} = 50 \text{ kN/m}$  pro Geschossdecke oberhalb der nachzuweisenden Wand herangezogen.

### 9.3 Gegenüberstellung von Traglast und Einwirkung

Vergleicht man die aufnehmbaren Tragfähigkeiten nach Abschnitt 4.2 mit dem in Abschnitt 9.2 ermittelten Wertebereich der einwirkenden vertikalen Last je Geschoss (und Dachdecke) oberhalb der zu bemessenden Wand, so zeigt sich, dass sich bereits mit einem  $f_k$ -Wert von  $0,9 \text{ N/mm}^2$  zwei Vollgeschosse (bei sehr günstigen Randbedingungen sogar drei Vollgeschosse) realisieren lassen, siehe Bild 14. Mit zunehmendem  $f_k$ -Wert erhöht sich die realisierbare Geschosshöhe bei entsprechender Planung auf bis zu 6 Vollgeschosse bei einem  $f_k$ -Wert von  $2,5 \text{ N/mm}^2$ .

## 10 Zusammenfassung und Fazit

Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen ist in der Lage, alle erforderlichen Anforderungen, die an Geschosswohnungsbauten gestellt werden, zu erfüllen. Von besonderer Bedeutung ist

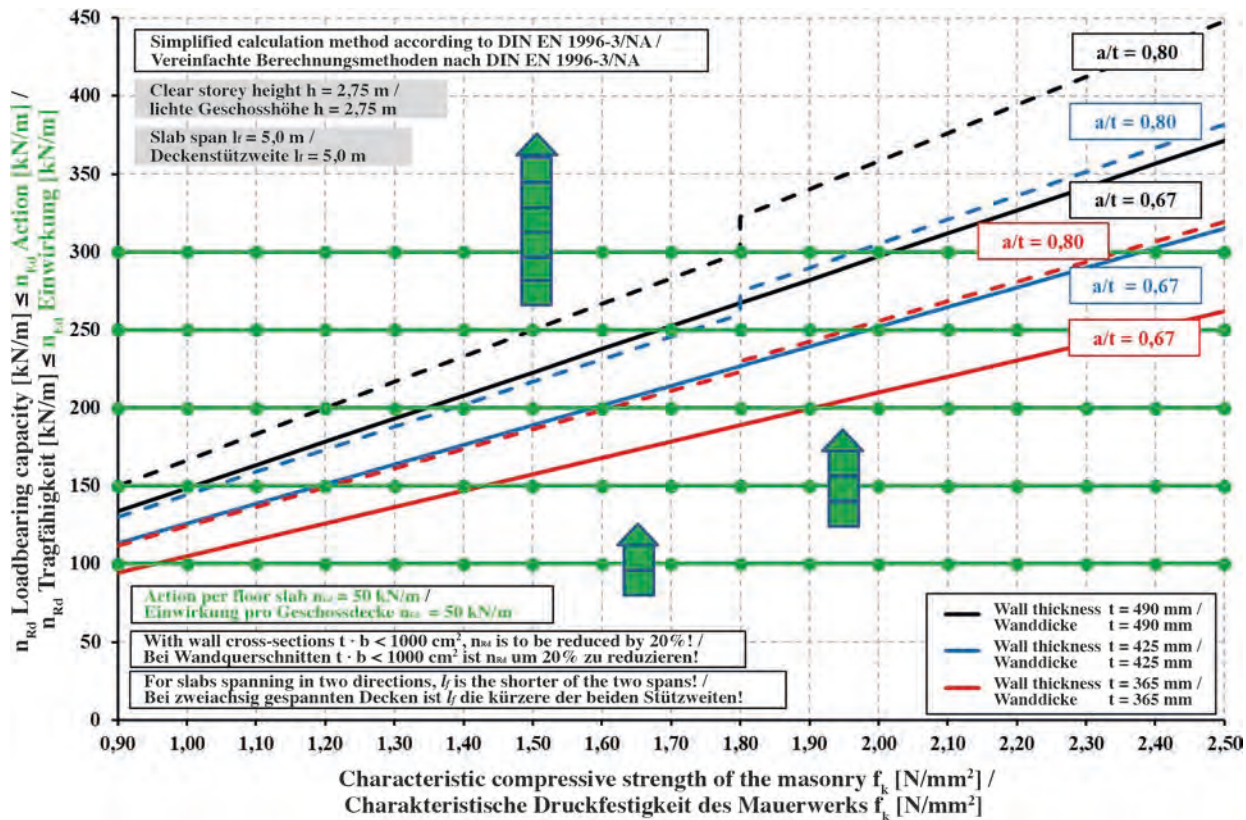


Fig. 14. Performance of monolithic external walls ( $l_f = 5.0 \text{ m}$ ) in multi-storey apartment buildings  
 Bild 14. Leistungsfähigkeit von monolithischen Außenwänden ( $l_f = 5,0 \text{ m}$ ) im mehrgeschossigen Wohnungsbau

may be built without problems with products, which show supposedly low characteristic masonry compressive strengths ( $f_k$ -values).

A general “sidestep” to use (other) massive building materials with supposedly higher compressive strengths is not normally necessary and considering that masonry of lightweight concrete shows the best ecobalance [1], is also not to be recommended.

Finally it should be pointed out that the use of different walling blocks (clay masonry, calcium silicate, aerated concrete, lightweight concrete) in one building is not to be recommended due to their different physical properties. If, for example, the interfaces between different materials used for internal and external walls are not properly fitted with movement joints, this “mixed building methods” can often lead to defects such as cracking due to the different coefficients of expansion and thus to spalling plaster. There may also be cracks in the facade, which sometimes run through the entire building joints and could even impair the structural properties of the building. If masonry of lightweight concrete is used, such a change of material with its susceptibility to defects is not necessary, since a sufficiently wide product palette is available for both internal and external walls.

#### Author – Autor:

Dr.-Ing. Thomas Kranzler  
 Bundesverband Leichtbeton e.V.  
 Sandkauler Weg 1  
 D-56564 Neuwied  
 kranzler@leichtbeton.de

dabei das Detail des Außenwand-Decken-Knotens, da dieses Detail neben den Anforderungen aus der Statik gleichzeitig auch den Aspekten aus Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz genügen muss. Bei entsprechender Planung unter Beachtung der in diesem Beitrag aufgeführten Empfehlungen sind mehrgeschossige Gebäude auch mit Produkten, welche vermeintlich geringere charakteristische Mauerwerkdruckfestigkeiten ( $f_k$ -Werte) aufweisen, in der Regel problemlos realisierbar.

Ein generelles „Ausweichen“ auf (andere) Massivbaustoffe mit vermeintlich höheren Druckfestigkeiten ist in der Regel nicht erforderlich und vor dem Hintergrund, dass Mauerwerk aus Leichtbeton die bestmögliche Ökobilanz aufweist [1], auch nicht zu empfehlen.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass das Verwenden unterschiedlicher Mauersteinarten (Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton, Leichtbeton) innerhalb eines Bauwerkes aufgrund deren unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften nicht zu empfehlen ist. Werden zum Beispiel die Schnittstellen bei der Verwendung von unterschiedlichen Materialien für Innen- und Außenwände nicht ordentlich mit Dehnfugen versehen, hat diese „Mischbauweise“ oftmals Bauschäden wie Risse durch unterschiedliche Längendehnung und Putzabplatzungen zur Folge. Gegebenenfalls können auch Fassadenrisse entstehen, die mitunter das gesamte Bauegefüge durchziehen und letztlich die statischen Eigenschaften des Bauwerks beeinträchtigen. Bei der Verwendung von Mauerwerk aus Leichtbeton ist ein derartiger und schadensanfälliger Materialwechsel nicht erforderlich, da sowohl für Außen- als auch Innenwände eine ausreichend große Produktpalette zur Verfügung steht.

## References – Literatur

- [1] *Bundesverband Leichtbeton e.V.* (2015) Massivbau ökologisch – Nachhaltigkeitsbericht des Bundesverbandes Leichtbeton e.V., Neuwied.
- [2] *Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V.* (2018) Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V., Berlin.
- [3] *Bundesverband Leichtbeton e.V.* (2015) Verputzen von Leichtbeton und Beton – ist doch ganz leicht. Bundesverband Leichtbeton e.V., Neuwied.
- [4] DIN 4108, Beiblatt 2:2006-03: Wärmeschutz im Hochbau, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele. NABau im DIN, Berlin 2006.
- [5] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Berlin 2013.
- [6] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2013) vom 18.11.2013. BGBl. Jahrgang 2013 Teil I, Nr. 67, vom 21. November 2013, S. 3951.
- [7] *Gierra, M.; Fischer, E.* (2012) Bewertung von Wärmebrücken im Lichte der zukünftigen Energieeinsparverordnung und in Verbindung mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Mauerwerk 16, H. 4, S. 185–192, <https://doi.org/10.1002/dama.201200543>.
- [8] ] DIN 4108, Beiblatt 2:2019-06: Wärmeschutz im Hochbau, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele (im Entwurf).
- [9] Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude (Gebäudeenergiegesetz – GEG), Entwurf 28.5.2019, Berlin.
- [10] *Bundesverband Leichtbeton e.V.* (2020) Massives Plus an Schallschutz – Bilanzierung des baulichen Schallschutzes nach DIN 4109:2016-07. Bundesverband Leichtbeton e.V., Neuwied.
- [11] ] DIN EN 1996-3:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996-3:2006 + AC:2009.
- [12] ] DIN EN 1996-1-1:2013-02: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005 + A1:2012. NABau im DIN, Berlin 2013.
- [13] ] DIN EN 1996-3/NA:2012-01 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3/NA: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten. NABau im DIN, Berlin 2012.
- [14] ] DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1/NA: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. NABau im DIN, Berlin 2012.
- [15] ] DIN 1053-1:1996-11: Mauerwerk. Teil 1: Berechnung und Ausführung. NABau im DIN, Berlin 1996.
- [16] ] DIN EN 1996-2: 2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-2:2006 + AC:2009.
- [17] ] DIN EN 1996-2/NA:2012-01: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk.
- [18] ] DIN EN 1996-3/NA/A2:2015-01: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; Änderung A2.
- [19] ] *Graubner, C.-A., Schmitt, M., Förster, V.* (2014) Hilfsmittel für die praxisnahe Bemessung von Mauerwerk, Mauerwerk 18, H. 3/4, S. 176–187, <https://doi.org/10.1002/dama.201400616>.
- [20] ] Z-17.1-2095:2018 Mauerwerk aus Leichtbeton- oder Beton-Lochsteinen nach DIN EN 771-3 in Verbindung mit DIN V 20000-403 sowie DIN V 18151-100, DIN V 18152-100 und DIN V 18153-100.
- [21] ] Musterbauordnung (MBO), Fassung 11.2002, zuletzt geändert 13.5.2016.
- [22] ] DIN EN 1996-1-2:2011-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005 + AC:2010. NABau im DIN, Berlin 2011
- [23] ] DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2/NA: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. NABau im DIN, Berlin 2013.

## **Impressum**

Herausgeber:  
Bundesverband Leichtbeton e.V.  
Sandkauler Weg 1  
56564 Neuwied

Geschosswohnungsbau mit monolithi-  
schem Mauerwerk aus Leichtbeton

Autor:  
Dr.-Ing. Thomas Kranzler

Auflage 2019  
©Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für  
Architektur und technische Wissen-  
schaften GmbH & Co. KG, 10245 Berlin  
(Sonderdruck aus Mauerwerk 3/2019,  
S. 178-198)

Titelbild: BV Leichtbeton



Mit freundlicher Unterstützung



Überreicht durch: