



## Verification of the fire resistance of clay brick masonry – hints for efficient design

Nachweis des Feuerwiderstands von Ziegelmauerwerk – Tipps für eine effiziente Bemessung

Carl-Alexander Graubner  
Benjamin Purkert

# Verification of the fire resistance of clay brick masonry – hints for efficient design

## Nachweis des Feuerwiderstands von Ziegelmauerwerk – Tipps für eine effiziente Bemessung

*In Germany, structural fire design of masonry is carried out in a simplified way using tabulated minimum wall thicknesses depending on the loading level in fire. Against this background the procedure of structural fire design is shown briefly before two approaches for a more efficient verification of the fire resistance are explained. The first possibility is to determine the reduction factor for the design value of the actions in fire more precisely and thereby reduce the loading level. Secondly, a design methodology is presented which can be applied in case of masonry walls with low vertical load but a large load eccentricity at mid-height of the wall. Finally, the verification of the fire resistance of masonry according to national technical approval is discussed with an explanation how to obtain the same loading level in fire if the design is based on DIN EN 1996-3/NA as when it is based on DIN EN 1996-1-1/NA.*

**Keywords:** fire resistance; fire design; national technical approval; brick masonry; loading level in fire; verification; loadbearing capacity; DIN EN 1996-1-2/NA

### 1 Introduction

In Germany, structural fire design of masonry is only possible using table values of minimum wall thickness according to DIN EN 1996-1-2/NA or in accordance with a national technical approval. Calculation procedures such as those provided for example in DIN EN 1996-1-2 must not be used at the moment in Germany (cf. [1]). For this reason, this article sets out to present ways for the structural designer to exploit masonry optimally in case of fire.

### 2 Fire design – procedure according to DIN EN 1996-1-2/NA and approval

Verification of the fire resistance of masonry according to national technical approval as well as that of masonry according to code, are generally performed according to the same principle. Using a loading level in fire  $\alpha_{fi}$  (standard case according to national technical approval) or  $\alpha_{6,fi}$  (standard case in DIN EN 1996-1-2/NA), the required minimum wall thickness can be read from tables depending on the performance criteria and the fire resistance duration to be maintained. The great majority of the experimentally determined minimum values in [1] were deter-

Die Bemessung von Mauerwerk im Brandfall erfolgt in Deutschland derzeit vereinfacht über die Einhaltung von Mindestwanddicken in Abhängigkeit der Querschnittsausnutzung. Vor diesem Hintergrund wird die Vorgehensweise der Bemessung im Brandfall kurz aufgezeigt, bevor anschließend zwei Ansätze zur effizienteren Gestaltung des Nachweises des Feuerwiderstands erläutert werden. Dies ist zum einen die Möglichkeit, den Abminderungsbeiwert für die Bemessungslast im Brandfall genauer zu ermitteln und somit die Ausnutzung zu reduzieren. Zum anderen wird beleuchtet, wie der Nachweis gering belasteter Wände aus Mauerwerk mit großer planmäßiger Lastexzentrizität in Wandhöhenmitte erfüllt werden kann. Abschließend wird der Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit bei Mauerwerk nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) diskutiert und dargestellt, wie bei Bemessung auf Basis von DIN EN 1996-3/NA die gleiche Ausnutzung im Brandfall erreicht werden kann wie bei Verwendung von DIN EN 1996-1-1/NA.

**Stichworte:** Feuerwiderstand; Bemessung im Brandfall; allgemeine bauaufsichtliche Zulassung; Ziegelmauerwerk; Ausnutzungsfaktor im Brandfall; Nachweis; Tragfähigkeit; DIN EN 1996-1-2/NA

### 1 Einführung

Die Bemessung von Mauerwerk im Brandfall ist in Deutschland ausschließlich über die Einhaltung tabellierter Mindestwanddicken nach DIN EN 1996-1-2/NA bzw. nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) möglich. Rechnerische Verfahren, wie sie z. B. in DIN EN 1996-1-2 enthalten sind, dürfen in Deutschland derzeit nicht angewendet werden (vgl. [1]). Aus diesem Grund sollen in diesem Beitrag Wege aufgezeigt werden, wie Tragwerksplaner Mauerwerk im Brandfall optimal ausnutzen können.

### 2 Bemessung im Brandfall – Vorgehensweise nach DIN EN 1996-1-2/NA und abZ

Der Nachweis des Feuerwiderstands von Mauerwerk nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) wie auch der von genormtem Mauerwerk erfolgen grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip. Unter Verwendung eines Ausnutzungsfaktors im Brandfall  $\alpha_{fi}$  (Regelfall nach abZ) bzw.  $\alpha_{6,fi}$  (Regelfall in DIN EN 1996-1-2/NA) kann in Abhängigkeit der Leistungskriterien und der einzuhaltenden Feuerwiderstandsdauer die erforderliche Mindestwanddicke aus Tabellen abgelesen werden. Die große Mehrzahl der experimentell ermittelten Mindestwerte in [1] wurde noch

mined on the basis of the loadbearing capacities according to DIN 1053-1 and converted with the introduction of the Eurocode 6 to comply with the new code requirements (cf. [2]). For these products, the loading level  $\alpha_{6,fi}$  according to Eqs. (1) and (2) is to be used in DIN EN 1996-1-2/NA [1].

$$\text{for } 10 \leq \frac{h_{ef}}{t} \leq 25: \quad \alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{15}{25 - \frac{h_{ef}}{t}} \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{1 \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \quad (1)$$

$$\text{for } \frac{h_{ef}}{t} < 10: \quad \alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{1 \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \quad (2)$$

With

- $\omega$  an adaption factor to allow for the different types of masonry units to consider the ratio  $f_k/\sigma_0$
- $h_{ef}$  the effective wall height
- $N_{Ed,fi}$  the design value of the vertical load in fire; as a simplification  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Ed}$
- $l, t$  the cross-sectional dimensions of the masonry wall
- $f_k$  the characteristic compressive strength of masonry
- $k_0$  factor to reduce the strength for cross-sectional areas  $A < 0,1 \text{ m}^2$
- $e_{mk,fi}$  the design eccentricity at mid-storey height in case of fire

The design eccentricity in case of fire is always to be limited to  $e_{mk,fi} \leq t/6$  since the tests that the table values are based on always consider a fully compressed cross-section. The loading level  $\alpha_{6,fi}$  may not exceed the value of 0.7 due to the verification format used in case of fire in EC 6. It also has to be noted that with Eqs. (1) and (2), the permissible load in case of fire is always related to the simplified calculation of the loadbearing capacity according to DIN 1053-1. This means that the higher “cold” loadbearing capacities permissible according to EC 6 cannot be used for design in case of fire.

The loading level  $\alpha_{fi}$  is used particularly for approved products or when new fire tests are available. According to Eq. (3), it relates the design value of the vertical load in fire  $N_{Ed,fi}$  to the design value of the loadbearing capacity in the cold case  $N_{Rd}$ . For  $N_{Rd}$ , the loadbearing capacity both according to DIN EN 1996-1-1/NA and also according to DIN EN 1996-3/NA may be used (cf. [1]). Due to the short exposure time in case of fire, the long-term factor usually considered when determining the design value of masonry compressive strength  $f_d$  may be neglected. Also here, a maximum value defined in the applicable approval applies, the magnitude of which is laid down from the results of fire tests.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \quad (3)$$

It is obvious that for masonry regulated in an approval, consideration of an increased loadbearing capacity in the

auf Basis der Tragfähigkeiten nach DIN 1053-1 ermittelt und mit der Einführung des Eurocode 6 auf die neuen Normenanforderungen umgerechnet (vgl. [2]). Für diese Produkte ist in DIN EN 1996-1-2/NA [1] der Ausnutzungsfaktor  $\alpha_{6,fi}$  nach Gln. (1) und (2) zu verwenden.

$$\text{für } 10 \leq \frac{h_{ef}}{t} \leq 25: \quad \alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{15}{25 - \frac{h_{ef}}{t}} \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{1 \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \quad (1)$$

$$\text{für } \frac{h_{ef}}{t} < 10: \quad \alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{1 \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \quad (2)$$

Dabei sind

- $\omega$  ein Anpassungsfaktor an die jeweilige Mauersteinart zur Berücksichtigung der Verhältniswerte  $f_k/\sigma_0$
- $h_{ef}$  die Knicklänge
- $N_{Ed,fi}$  die einwirkende Normalkraft im Brandfall; vereinfacht gilt  $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Ed}$
- $l, t$  die Querschnittsabmessungen der Mauerwerkswand
- $f_k$  die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit
- $k_0$  Faktor zur Reduzierung der Festigkeit bei Querschnittsflächen  $A < 0,1 \text{ m}^2$
- $e_{mk,fi}$  die planmäßige Exzentrizität im Brandfall in Wandhöhenmitte

Die planmäßige Ausmitte im Brandfall ist dabei stets auf  $e_{mk,fi} \leq t/6$  zu begrenzen, da die den Tabellenwerten zugrunde liegenden Versuche stets überdrückte Querschnitte berücksichtigen. Der Ausnutungsgrad  $\alpha_{6,fi}$  darf aufgrund des dem EC 6 im Brandfall zugrunde liegenden Nachweisformats den Wert 0,7 nicht überschreiten. Zusätzlich ist zu beachten, dass mit Gln. (1) und (2) die zulässige Beanspruchung im Brandfall stets auf die vereinfachte Berechnung der Tragfähigkeit nach DIN 1053-1 bezogen wird. Dies bedeutet, dass nach EC 6 zulässige höhere Tragfähigkeiten im Kaltfall bei der Bemessung im Brandfall nicht genutzt werden können.

Der Ausnutzungsfaktor  $\alpha_{fi}$  findet insbesondere bei Zulassungsprodukten oder beim Vorliegen neuer Brandversuche Anwendung. Er setzt entsprechend Gl. (3) die einwirkende Normalkraft im Brandfall  $N_{Ed,fi}$  mit dem Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft im Kaltfall  $N_{Rd}$  ins Verhältnis. Für  $N_{Rd}$  darf dabei die Normalkrafttragfähigkeit sowohl nach DIN EN 1996-1-1/NA als auch nach DIN EN 1996-3/NA verwendet werden (vgl. [1]). Dabei kann aufgrund der kurzen Beanspruchungsdauer im Brandfall der Dauerstandsfaktor bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Mauerwerksdruckfestigkeit  $f_d$  unberücksichtigt bleiben. Auch hier gilt ein in der jeweiligen Zulassung definierter Maximalwert, dessen Größe aufgrund der Ergebnisse des Brandversuchs festgelegt wird.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \quad (3)$$

cold case (e.g. by using the procedure according to DIN EN 1996-1-1/NA) leads to a reduction of the present loading level in fire, i.e. thinner wall thicknesses can be implemented or greater vertical forces can be resisted in case of fire.

$N_{Ed,fi}$  may always be determined according to Eq. (4), both for Eqs. (1) and (2) as well as for Eq. (3), with  $\eta_{fi} = 0.70$  being valid as a simplification without more precise verification of the reduction factor for the design value of the actions in fire. The reduction factor takes into account that the probability of occurrence of a fire at exactly the same time as the maximum vertical load during the lifetime of the structure is extremely unlikely.

$$N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} \quad (4)$$

### 3 More precise determination of the design value of the vertical load in fire $N_{Ed,fi}$

Instead of the simplified assumption of a reduction factor  $\eta_{fi} = 0.70$  (cf. section 2) for the design load in fire, more precise determination is also permissible. For this purpose DIN EN 1996-1-2 [3] Eq. (5) provides a calculation equation that may be used for the reduction factor:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (5)$$

with

- $G_k$  characteristic value of the persistent actions
- $Q_{k,1}$  characteristic value of the main action of the transient actions
- $\psi_{fi}$  combination factor for frequent values
- $\gamma_G$  partial factor for persistent actions
- $\gamma_Q$  partial factor for the main action of the transient actions

For the combination factor  $\psi_{fi}$ , the value for the frequent combination of actions  $\psi_1$  should be used to be on the safe side. Accordingly  $\psi_{fi} = 0.5$  according to DIN EN 1990/NA, Tab. NA.1.1 [4] is to be used for live loads in residential and office buildings.

Eq. (5) can also be used without concern if in the determination of the “cold” effects of actions at the ultimate limit state, the acting vertical load has been determined according to DIN EN 1996-1-1/NA, Abs. 2.4.2 (NA.2) [5] without consideration of a combination factor. In this way, depending on the ratio of live and permanent loads, a significant decrease of the reduction factor for the design value of the actions in fire is possible, as shown in Fig. 1. Further information can be found in references such as [6].

The advantage of the more precise determination of  $\eta_{fi}$  should now be made clear with a short example. For a masonry wall, design for the cold case results in a loading level of  $\alpha = N_{Ed}/N_{Rd} = 0.85$ . The permissible loading level in fire is prescribed as  $\alpha_{fi,max} = 0.55$ . With the simplified assumption of  $\eta_{fi} = 0.70$  this gives a loading level in fire according to Eq. (6), which exceeds the maximum permissible value. The verification of fire resistance is therefore not possible.

Man erkennt, dass bei zulassungsgeregelten Steinen die Berücksichtigung einer erhöhten Tragfähigkeit im Kaltfall (z. B. durch Verwendung des genaueren Verfahrens nach DIN EN 1996-1-1/NA) zu einer Reduzierung des vorhandenen Ausnutzungsfaktors im Brandfall führt, d. h. dass ggf. dünnere Wanddicken realisiert bzw. größere Normalkräfte im Brandfall aufgenommen werden können.

$N_{Ed,fi}$  darf sowohl für Gln. (1) und (2) als auch für Gl. (3) stets nach Gl. (4) bestimmt werden, wobei für den Abminderungsbeiwert für die Bemessungslast im Brandfall ohne genaueren Nachweis vereinfachend  $\eta_{fi} = 0,70$  gilt. Dieser Abminderungsbeiwert berücksichtigt, dass die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes zu genau dem Zeitpunkt der in der Lebensdauer des Bauwerks maximal auftretenden Normalkrafteinwirkung außerordentlich gering ist.

$$N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} \quad (4)$$

### 3 Genauere Ermittlung der im Brandfall einwirkenden Bemessungslast $N_{Ed,fi}$

Anstelle der vereinfachten Annahme des Reduktionsfaktors  $\eta_{fi} = 0,70$  (vgl. Abschnitt 2) für die Bemessungslast im Brandfall ist auch eine genauere Ermittlung zulässig. Hierfür gibt DIN EN 1996-1-2 [3] Gl. (5) als Berechnungsgleichung vor, nach welcher der Reduktionsfaktor ermittelt werden darf:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (5)$$

mit

- $G_k$  charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
- $Q_{k,1}$  charakteristischer Wert der Leiteinwirkung der veränderlichen Einwirkungen
- $\psi_{fi}$  Kombinationsbeiwert für häufige Werte
- $\gamma_G$  Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
- $\gamma_Q$  Teilsicherheitsbeiwert für die Leiteinwirkung der veränderlichen Einwirkungen

Für den Kombinationsbeiwert  $\psi_{fi}$  sollte dabei auf der sicheren Seite liegend der Wert  $\psi_1$  für die häufige Einwirkungskombination verwendet werden. Für Nutzlasten in Wohn- und Bürogebäuden ist dementsprechend  $\psi_{fi} = 0,5$  gemäß DIN EN 1990/NA, Tab. NA.1.1 [4] zu verwenden.

Gl. (5) kann auch dann bedenkenlos angewendet werden, wenn bei der Schnittgrößenermittlung im Grenzzustand der Tragfähigkeit im Kaltfall der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft gemäß DIN EN 1996-1-1/NA, Abs. 2.4.2 (NA.2) [5] ohne Berücksichtigung eines Kombinationsbeiwertes bestimmt wird. Auf diese Weise ist je nach Verhältnis zwischen veränderlicher und ständiger Last eine signifikante Reduzierung des Abminderungsbeiwerts für die Bemessungslast im Brandfall möglich, wie Bild 1 zeigt. Weiterführende Informationen finden sich u. a. in [6].

Die Vorteilhaftigkeit der genaueren Ermittlung von  $\eta_{fi}$  soll anhand eines kurzen Beispiels veranschaulicht werden. Für eine Mauerwerkswand ergebe sich aus der Bemessung im Kaltfall eine Ausnutzung von  $\alpha = N_{Ed}/N_{Rd} = 0,85$ . Die zulässige Ausnutzung im Brandfall sei mit  $\alpha_{fi,max} = 0,55$  vorgegeben. Mit dem vereinfachten Ansatz  $\eta_{fi} = 0,70$  ergibt

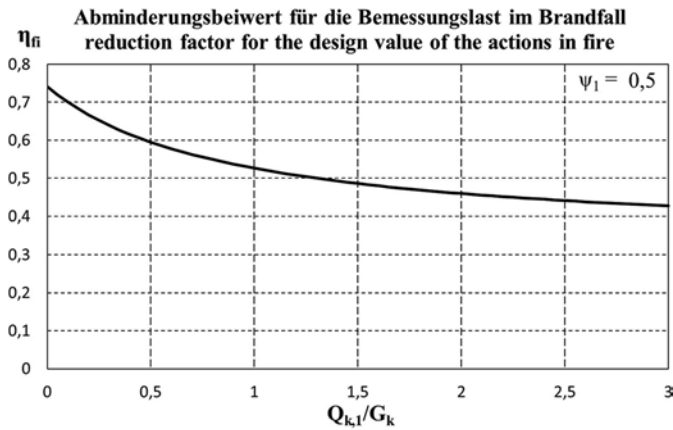


Fig. 1. Reduction factor for the design load in case of fire in residential and office buildings depending on the ratio of transient and persistent loading

Bild 1. Abminderungsbeiwert für die Bemessungslast im Brandfall in Abhängigkeit des Verhältnisses von veränderlicher und ständiger Last für Wohn- und Bürogebäude

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{0,70 \cdot N_{Ed}}{N_{Rd}} = 0,70 \cdot 0,85 = 0,595 > 0,55 \quad (6)$$

If the reduction factor  $\eta_{fi}$  is however determined more precisely, and assuming the common ratio of  $Q_{k,1}/G_k = 0,5$ , a reduction factor of  $\eta_{fi} = 0,60$  may be used instead of  $\eta_{fi} = 0,70$  (cf. Fig. 1). This leads to a reduction of the loading level in fire according to Eq. (7) and the fire resistance can be verified (as long as the relevant minimum wall thickness is maintained). In fact even an increase of the acting vertical load to  $N_{Ed} = 0,91 \cdot N_{Rd}$  is possible.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{0,60 \cdot N_{Ed}}{N_{Rd}} = 0,60 \cdot 0,85 = 0,51 \leq 0,55 \quad (7)$$

#### 4 Verification for walls with high eccentricity

For masonry with design eccentricities at mid-storey height in fire of  $e_{mk,fi} > t/6$ , currently a constructional centring of the load so that its eccentricity does not exceed a sixth of the wall thickness is mandatory according to DIN EN 1996-1-2/NA Annex B (5) [1]. The reason for this requirement is that most fire tests and the specification of the permissible loading levels  $\alpha_{6,fi}$  were carried out assuming a fully compressed wall cross section. Therefore it is normally practical for external walls to select the bearing length of the slab as large as possible (e.g.  $a/t = 0,75$  or  $a/t = 0,80$ ), especially as this is absolutely sufficient in most cases in order to fulfil the requirements for thermal bridges according to Supplement 2 of the new edition of DIN 4108 [7] issued in June 2019. With such a bearing length, efficient and safe design is possible, both in the cold case and in case of fire, without additional centring measures being necessary. If on the other hand the bearing length is selected as  $a/t \leq 2/3$ , this regularly leads to a load eccentricity of  $e/t > 1/6$ , so that fire design according to code without additional centring is ruled out.

In order nonetheless to be able to fulfil the verification in this case, a load-free strip (e.g. of cellular rubber) is often provided on the inner edge of the wall (see Fig. 2), if

sich somit eine Ausnutzung im Brandfall nach Gl. (6), die den maximal zulässigen Wert überschreitet. Ein Nachweis des Feuerwiderstands ist somit nicht möglich.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{0,70 \cdot N_{Ed}}{N_{Rd}} = 0,70 \cdot 0,85 = 0,595 > 0,55 \quad (6)$$

Wird der Abminderungsbeiwert  $\eta_{fi}$  jedoch genauer ermittelt, darf unter der Annahme des üblichen Verhältnisses von  $Q_{k,1}/G_k = 0,5$  ein Abminderungsbeiwert von  $\eta_{fi} = 0,60$  anstelle von  $\eta_{fi} = 0,70$  verwendet werden (vgl. Bild 1). Damit reduziert sich die Ausnutzung im Brandfall entsprechend Gl. (7) und der Feuerwiderstand kann nachgewiesen werden (sofern die entsprechende Mindestwanddicke eingehalten ist). Tatsächlich wäre sogar noch eine Erhöhung der einwirkenden Normalkraft auf bis zu  $N_{Ed} = 0,91 \cdot N_{Rd}$  möglich.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{0,60 \cdot N_{Ed}}{N_{Rd}} = 0,60 \cdot 0,85 = 0,51 \leq 0,55 \quad (7)$$

#### 4 Nachweisführung bei Wänden mit größerer Ausmitte

Bei Mauerwerk mit planmäßigen Exzentrizitäten in Wandhöhenmitte im Brandfall von  $e_{mk,fi} > t/6$  fordert DIN EN 1996-1-2/NA in Anhang B (5) derzeit zwingend eine konstruktive Zentrierung der Last derart, dass deren Ausmitte ein Sechstel der Wanddicke nicht überschreitet [1]. Grund für diese Forderung ist, dass der Großteil aller Brandversuche und die Festlegung der zulässigen Ausnutzungsfaktoren  $\alpha_{6,fi}$  unter der Vorgabe eines überdrückten Wandquerschnitts erfolgte. Im Regelfall ist es daher bei Außenwänden zielführend, die Auflagertiefe der Decke möglichst groß zu wählen (z. B.  $a/t = 0,75$  oder  $a/t = 0,80$ ), zumal dies in den meisten Fällen absolut ausreichend ist, um die Anforderungen an Wärmebrücken gemäß der im Juni 2019 erschieneenen Neufassung von DIN 4108 Beiblatt 2 [7] zu erfüllen. Mit einer derartigen Auflagertiefe ist eine effiziente und zugleich sichere Bemessung sowohl im Kalt- als auch im Brandfall möglich, ohne dass zusätzliche Zentriermaßnahmen notwendig werden. Wird die Auflagertiefe dagegen zu  $a/t \leq 2/3$  gewählt, ergibt sich regelmäßig eine Lastexzentrizität  $e/t > 1/6$ , sodass eine normenkonforme Heißbemessung ohne zusätzliche Lastzentrierung ausscheidet.

Um den Nachweis in diesem Fall dennoch erfüllen zu können, wird bei geringer Normalkraftbeanspruchung oftmals ein Lastfreistreifen (z. B. aus Zellkautschuk) an der Innenkante der Wand angeordnet (siehe Bild 2). Dieser Lastfreistreifen führt zu einer Rezentrierung der Normalkraft und ist so breit einzulegen, dass die Ausmitte der Normalkrafteinwirkung die Forderung der Norm ( $e_{mk,fi} \leq t/6$ ) erfüllt. Die erforderliche Breite des Lastfreistreifens  $c$  kann näherungsweise nach Gl. (8) bestimmt werden, wobei sich das Biegemoment in Wandhöhenmitte  $m_{Ed,Mitte}$  auf die ursprüngliche Auflagerachse bezieht.

$$c \geq 2 \cdot \left( \frac{m_{Ed,Mitte}}{n_{Ed,Mitte}} + \frac{h_{ef}}{450} + \frac{t}{3} - \frac{a}{2} \right) \quad (8)$$

Bei der Bemessung ist diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen, indem bei der Bestimmung des Abminderungs-

the vertical load is low. This load-free strip leads to a re-centring of the vertical load and should be laid with such a width that the eccentricity of the normal load fulfils the requirement of the code ( $e_{mk,fi} \leq t/6$ ). The necessary width of the load-free strip  $c$  can be determined approximately with Eq. (8), with the bending moment at mid-storey height being related to the original bearing axis.

$$c \geq 2 \cdot \left( \frac{m_{Ed,mid}}{n_{Ed,mid}} + \frac{h_{ef}}{450} + \frac{t}{3} - \frac{a}{2} \right) \quad (8)$$

This situation is to be reflected in the design by using the reduced bearing length  $a_{red} = a - c$  in the determination of the capacity reduction factor at the top of the wall  $\Phi_{Kopf}$  instead of the actual bearing length  $a$ . It should be noted here that for example with clay masonry units with large chambers, the larger value of the width of the load-free strip and the width of the chamber at the edge (including the thickness of the external longitudinal web) has to be subtracted from the actual bearing length. In the usual cases in practice, the load-free strip has a favourable effect on the loadbearing capacity at mid-storey height. That is why it can be neglected here in the design.

The use of a load-free strip should however only be considered if the vertical load is very small ( $N_{Ed} < 0,33 \cdot t \cdot l \cdot f_d$ ). An enlarged bearing length is therefore always to be preferred in practice.

## 5 Verification of the fire resistance with approved products

As already explained in Section 2, with approved products, the determination of the loading level in fire  $\alpha_{fi}$  according to Eq. (3) may be based both on DIN EN 1996-1-1/NA and DIN EN 1996-3/NA, with the loadbearing capacity at mid-storey height usually being governing for structural fire design. The maximum values  $\alpha_{fi,max}$  given in the approval are however solely matched to the loadbearing capacity according to DIN EN 1996-1-1/NA since in the derivation of the maximum values, the load applied in the fire test is related to the loadbearing capacity according to DIN EN 1996-1-1/NA with idealised central loading. In the determination of the capacity reduction factor  $\Phi_m$  which is used for derivation of  $\alpha_{fi,max}$ , therefore, no eccentricities at all – neither the minimum eccentricity nor an initial eccentricity or a creep eccentricity – are taken into account. The effective wall height is here assumed to be  $h_{ef} = 0,75 \cdot h$ . Furthermore the long-term factor is also neglected in the determination of the loadbearing capacity according to DIN EN 1996-1-1/NA which is the reference parameter for the load applied in the fire test so that the design value of the masonry compressive strength can be obtained from Eq. (9).

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (9)$$

In contrast to this, in the determination of the present loading level in fire  $\alpha_{fi}$  according to DIN EN 1996-1-2/NA, the cold loadbearing capacity  $N_{Rd}$  is to be used considering the present load eccentricity, in which eccentricities due to wind may be neglected. Due to the already mentioned neglecting of the long-term factor, it is furthermore

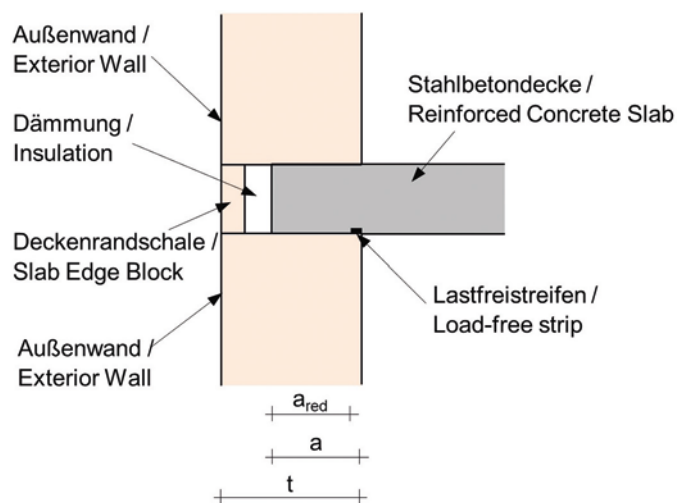


Fig. 2. Position of the load-free strip at the inner edge of a masonry wall

Bild 2. Anordnung des Lastfreistreifens an der Innenkante einer Mauerwerkswand

faktors am Wandkopf  $\Phi_{Kopf}$  die reduzierte Auflagertiefe  $a_{red} = a - c$  anstelle der tatsächlichen Auflagertiefe  $a$  verwendet wird. Zu beachten ist hierbei, dass beispielsweise bei Großkammerziegeln der größere Wert aus der Breite des Lastfreistreifens und der Breite der am Rand liegenden Kammer (inkl. der Dicke des Außenlängssteges) von der tatsächlichen Auflagertiefe subtrahiert werden muss. Auf die Tragfähigkeit in Wandhöhenmitte wirkt sich der Lastfreistreifen in praxisüblichen Fällen günstig aus, weshalb er hier bei der Bemessung vernachlässigt werden kann.

Die Verwendung eines Lastfreistreifens sollte jedoch ausschließlich bei sehr niedriger Normalkraftbeanspruchung ( $N_{Ed} < 0,33 \cdot t \cdot l \cdot f_d$ ) in Betracht gezogen werden. Vorrangig ist daher stets eine vergrößerte Auflagertiefe zielführend.

## 5 Nachweis des Feuerwiderstands bei Zulassungsprodukten

Wie bereits in Abschnitt 2 erläutert, darf für Zulassungsprodukte bei der Bestimmung des vorhandenen Ausnutzungsfaktors  $\alpha_{fi}$  nach Gl. (3) sowohl DIN EN 1996-1-1/NA als auch DIN EN 1996-3/NA zugrunde gelegt werden, wobei im Brandfall üblicherweise die Tragfähigkeit in Wandhöhenmitte bemessungsrelevant ist. Die in den abZ angegebenen zulässigen Maximalwerte  $\alpha_{fi,max}$  sind jedoch ausschließlich auf die Tragfähigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA abgestimmt, da bei der Herleitung der Maximalwerte die im Brandversuch aufgebrachte Last der Tragfähigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA bei ideal zentrischer Lasteinleitung ins Verhältnis gesetzt wird. Bei der Bestimmung des dort zugrunde liegenden Traglastfaktors  $\Phi_m$  werden daher keinerlei Exzentrizitäten – weder die Mindestausmitte noch eine ungewollte Ausmitte oder eine Kriechausmitte – berücksichtigt. Die Knicklänge wird zu  $h_{ef} = 0,75 \cdot h$  angenommen. Darüber hinaus bleibt auch der Dauerstandsfaktor bei der Berechnung der Tragfähigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA als Bezugsgröße für die im Versuch aufgebrachte Last unberücksichtigt, sodass sich der Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit nach Gl. (9) ergibt.

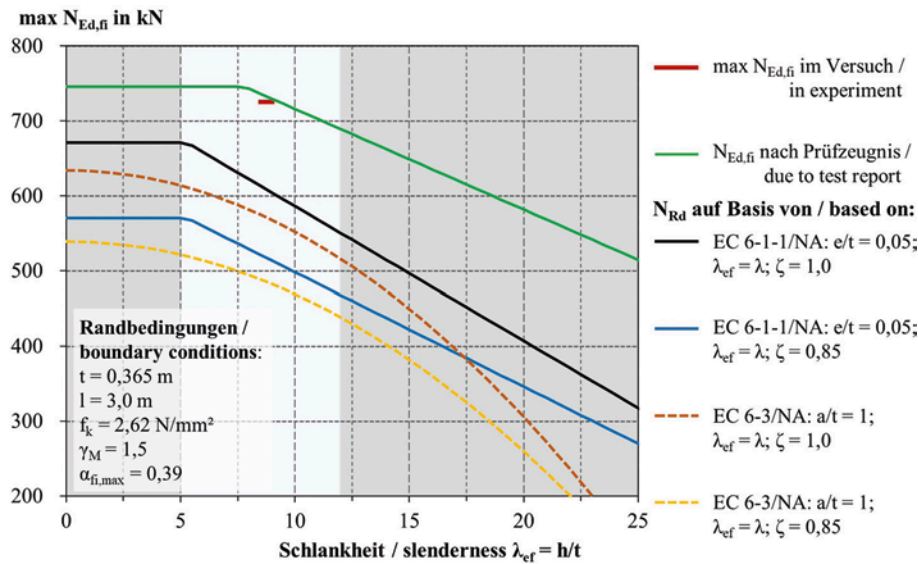


Fig. 3. Comparison of the maximum vertical load in fire  $\max N_{Ed,fi}$  depending on the slenderness for  $a/t = 1$   
Bild 3. Vergleich der zulässigen Normalkraft im Brandfall  $\max N_{Ed,fi}$  in Abhängigkeit der Schlankheit für  $a/t = 1$

permissible – even if not explicitly stated in DIN EN 1996-1-2/NA – to omit the long-term factor in the determination of the loading level in fire  $\alpha_{fi}$ , since the case of fire can be regarded as a short-term action. For structural engineers, this means that the cold loadbearing capacity  $N_{Rd}$  incl. long-term factor may be increased by the inverse of the long-term factor  $1/0.85$  for use in Eq. (3), which correspondingly reduces  $\alpha_{fi}$ :

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd} \cdot \frac{1}{0.85}} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \cdot 0.85 \quad (10)$$

Fig. 3 shows the permissible maximum design value of the vertical load in fire  $\max N_{Ed,fi}$  depending on the slenderness (on the safe side with  $h_{ef} = 1.0 \cdot h$ ) for a masonry wall with the given boundary conditions. As can be seen, the consideration of the minimum eccentricity leads to a certain reduction of the maximum permissible vertical load  $\max N_{Ed,fi}$  compared to the load applied in the test. This is however justified due to the actually occurring unplanned eccentricity in reality. The omission of the long-term factor on the other hand has an extremely positive effect with an increase of the loadbearing capacity by about 17%.

Furthermore, Fig. 3 also shows the permissible maximum design value of the acting vertical load in fire  $\max N_{Ed,fi}$  using the simplified calculation methods (with and without long-term factor). It can be seen that with the use of DIN EN 1996-3/NA, the loadbearing capacities in fire are always lower than according to DIN EN 1996-1-1/NA. The loadbearing capacity at mid-storey height always serves as the governing comparative parameter. The difference of loadbearing capacity in case of fire can in some cases be even higher if the effective wall height  $h_{ef}$  may be reduced according to DIN EN 1996-1-1/NA, whereas according to DIN EN 1996-3/NA  $\rho_2 = 1.0$  always applies for walls  $t > 25$  cm.

In order to still exploit the permissible vertical load determined in the fire test – which was determined independent of the verification procedure – when using DIN EN 1996-3/NA, a systematic comparison of the loadbearing capacities according to DIN EN 1996-1-1/NA and

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (9)$$

Im Gegensatz dazu ist bei der Ermittlung des vorhandenen Ausnutzungsfaktors  $\alpha_{fi}$  gemäß DIN EN 1996-1-2/NA die kalte Tragfähigkeit  $N_{Rd}$  unter Berücksichtigung der vorhandenen Lastexzentrizität zu verwenden, wobei Exzentrizitäten infolge Wind vernachlässigt werden dürfen. Aufgrund der oben beschriebenen Nichtberücksichtigung des Dauerstandsfaktors ist es darüber hinaus zulässig – auch wenn dies in DIN EN 1996-1-2/NA nicht explizit zu finden ist –, bei der Ermittlung des vorhandenen Ausnutzungsfaktors  $\alpha_{fi}$  auf den Dauerstandsfaktor zu verzichten, da der Brandfall als kurzzeitige Einwirkung anzusehen ist. Für Tragwerksplaner bedeutet dies, dass die kalte Tragfähigkeit  $N_{Rd}$  inkl. Dauerstandsfaktor zur Verwendung in Gl. (3) um den Kehrwert des Dauerstandsfaktors mit  $1/0.85$  erhöht werden darf, wodurch sich  $\alpha_{fi}$  entsprechend verringert:

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd} \cdot \frac{1}{0.85}} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \cdot 0.85 \quad (10)$$

In Bild 3 ist die maximal zulässige Normalkraft im Brandfall  $\max N_{Ed,fi}$  in Abhängigkeit der Schlankheit (auf der sicheren Seite liegend mit  $h_{ef} = 1.0 \cdot h$ ) für eine Mauerwerkswand mit den angegebenen Randbedingungen dargestellt. Wie zu erkennen ist, führt die Berücksichtigung der Mindestausmitte zu einer gewissen Reduzierung der maximal zulässigen Normalkraft  $\max N_{Ed,fi}$  im Vergleich zu der im Versuch aufgetragenen Last. Dies ist jedoch aufgrund der in der Realität ggf. tatsächlich vorhandenen unplanmäßigen Ausmitte gerechtfertigt. Der Verzicht auf den Dauerstandsfaktor wirkt sich dagegen äußerst positiv aus und bewirkt eine Tragfähigkeitserhöhung um etwa 17%.

Darüber hinaus ist in Bild 3 auch der zulässige Maximalwert der einwirkenden Normalkraft im Brandfall  $\max N_{Ed,fi}$  bei Verwendung der vereinfachten Berechnungsmethoden (mit und ohne Dauerstandsfaktor) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bei Verwendung von DIN EN 1996-3/NA stets geringere Traglasten im Brandfall möglich sind als

DIN EN 1996-3/NA was carried out for various slender-nesses and bearing lengths with the objective of deriving increase factors  $\delta_{fi}$  for the maximum value  $\alpha_{fi,max}$ . Using Eqs. (11), (12) and (13), it can be shown that for this purpose a consideration of the actual loadbearing capacity related to the cross-sectional loadbearing capacity  $t \cdot l \cdot f_k / \gamma_M$ , which corresponds to the capacity reduction factor  $\Phi$ , is sufficient and the results can thus be used independent of approval for all combinations of units and mortar to be verified in this way.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd,1-1/NA}} = \frac{N_{Ed,fi}}{\Phi_{1-1/NA} \cdot t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \alpha_{fi,max} \tag{11}$$

$$\Leftrightarrow \frac{N_{Ed,fi}}{t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \Phi_{1-1/NA} \cdot \alpha_{fi,max}$$

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd,3/NA}} = \frac{N_{Ed,fi}}{\Phi_{3/NA} \cdot t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \alpha_{fi,max} \tag{12}$$

$$\Leftrightarrow \frac{N_{Ed,fi}}{t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \Phi_{3/NA} \cdot \alpha_{fi,max}$$

$$\Phi_{1-1/NA} \cdot \alpha_{fi,max} \stackrel{!}{=} \Phi_{3/NA} \cdot \alpha_{fi,max} \cdot \delta_{fi} \tag{13}$$

$$\Leftrightarrow \Phi_{1-1/NA} \stackrel{!}{=} \Phi_{3/NA} \cdot \delta_{fi}$$

Figs. 4 and 5 show the capacity reduction factors according to DIN EN 1996-1-1/NA compared to those according to DIN EN 1996-3/NA for various ratios of bearing length to wall thickness. This is based on the relationship between relative bearing length  $a/t$  and the eccentricity to be set  $e/t$  given in Eq. (14). The increase of  $e_{mk}/t$  by 10% is considered in order to also cover additional eccentricities – e.g. due to a moment loading or an initial eccentricity – and thus lie on the safe side. Creep is not of significance in the considered range of slenderness.

$$\frac{e}{t} = 1,1 \cdot \frac{e_{mk}}{t} = \frac{1,1}{2} \cdot \left(1 - \frac{a}{t}\right) \tag{14}$$

The comparison of capacity reduction factors shows that lower load capacities always result according to DIN EN 1996-3/NA. The difference varies not only dependent on the slenderness but also dependent on the relative bearing length. The maximum difference occurs at about  $a/t = 0,9$ , which is mainly caused by the consideration of the minimum eccentricity  $e/t = 0,05$  according to DIN EN 1996-1-1/NA.

By means of this comparison of the capacity reduction factors depending on the bearing length, the increase factors  $\delta_{fi}$  can be defined in such a way that the curves of the simplified calculation methods just meet tangentially those according to DIN EN 1996-1-1/NA (cf. dot-dashed lines in Figs. 4 and 5). This leads to the proposal in Tab. 1 for the definition of the increase factors, which is also illustrated graphically in Fig. 6. Until the reaching of the mini-

nach DIN EN 1996-1-1/NA. Als maßgebende Vergleichsgröße dient dabei immer die Tragfähigkeit in Wandhöhenmitte. Die Differenz der Traglast im Brandfall kann in einigen Fällen noch größer sein, wenn die Knicklänge  $h_{ef}$  gemäß DIN EN 1996-1-1/NA abgemindert werden darf, wohingegen nach DIN EN 1996-3/NA stets  $\rho_2 = 1,0$  für Wände  $t > 25$  cm gilt.

Um die im Brandversuch ermittelte zulässige Normalkraft – welche unabhängig vom Nachweisverfahren bestimmt wurde – auch bei Verwendung von DIN EN 1996-3/NA ausnutzen zu können, wurde ein systematischer Vergleich der Tragfähigkeiten nach DIN EN 1996-1-1/NA und DIN EN 1996-3/NA für verschiedene Schlankheiten und Auflagertiefen durchgeführt mit dem Ziel, Erhöhungsfaktoren  $\delta_{fi}$  für den Maximalwert  $\alpha_{fi,max}$  abzuleiten. Anhand der Gln. (11), (12) und (13) lässt sich zeigen, dass hierzu eine Betrachtung der auf die Querschnittstragfähigkeit  $t \cdot l \cdot f_k / \gamma_M$  bezogenen Normalkrafttragfähigkeit, welche dem Abminderungsbeiwert  $\Phi$  entspricht, ausreicht und die Ergebnisse somit zulassungsunabhängig für alle derart nachzuweisenden Stein-Mörtel-Kombinationen verwendet werden können.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd,1-1/NA}} = \frac{N_{Ed,fi}}{\Phi_{1-1/NA} \cdot t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \alpha_{fi,max} \tag{11}$$

$$\Leftrightarrow \frac{N_{Ed,fi}}{t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \Phi_{1-1/NA} \cdot \alpha_{fi,max}$$

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd,3/NA}} = \frac{N_{Ed,fi}}{\Phi_{3/NA} \cdot t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \alpha_{fi,max} \tag{12}$$

$$\Leftrightarrow \frac{N_{Ed,fi}}{t \cdot l \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}} \leq \Phi_{3/NA} \cdot \alpha_{fi,max}$$

$$\Phi_{1-1/NA} \cdot \alpha_{fi,max} \stackrel{!}{=} \Phi_{3/NA} \cdot \alpha_{fi,max} \cdot \delta_{fi} \tag{13}$$

$$\Leftrightarrow \Phi_{1-1/NA} \stackrel{!}{=} \Phi_{3/NA} \cdot \delta_{fi}$$

In Bild 4 und Bild 5 sind die Traglastfaktoren nach DIN EN 1996-1-1/NA denen nach DIN EN 1996-3/NA für verschiedene Verhältnisse von Auflagertiefe zu Wanddicke gegenübergestellt. Dabei wird der in Gl. (14) angegebene Zusammenhang zwischen bezogener Auflagertiefe  $a/t$  und anzusetzender Exzentrizität  $e/t$  zugrunde gelegt. Die Erhöhung von  $e_{mk}/t$  um 10% erfolgt, um zusätzliche Exzentrizitäten – z. B. infolge einer Momentenbeanspruchung oder einer ungewollten Ausmitte – ebenfalls abzudecken und somit auf der sicheren Seite zu liegen. Kriechen ist bei dem betrachteten Schlankheitsbereich nicht von Bedeutung.

$$\frac{e}{t} = 1,1 \cdot \frac{e_{mk}}{t} = \frac{1,1}{2} \cdot \left(1 - \frac{a}{t}\right) \tag{14}$$

Die Gegenüberstellung der Abminderungsbeiwerte lässt erkennen, dass sich nach DIN EN 1996-3/NA stets gerin-



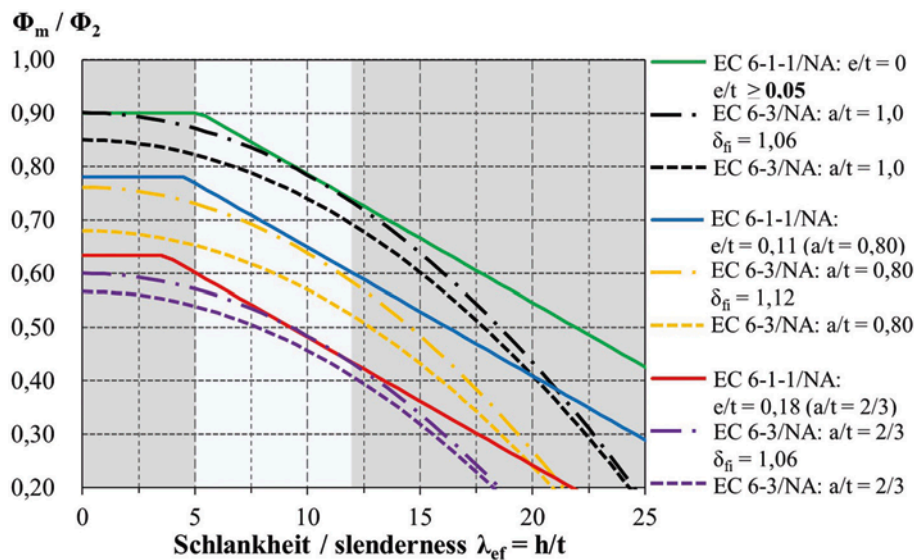


Fig. 4. Comparison of the capacity reduction factor  $\Phi_m$  according to DIN EN 1996-1-1/NA and  $\Phi_2$  according to DIN EN 1996-3/NA for various ratios  $a/t$  (1)

Bild 4. Vergleich der Abminderungsbeiwerte  $\Phi_m$  nach DIN EN 1996-1-1/NA und  $\Phi_2$  nach DIN EN 1996-3/NA für verschiedene Verhältnisse  $a/t$  (1)

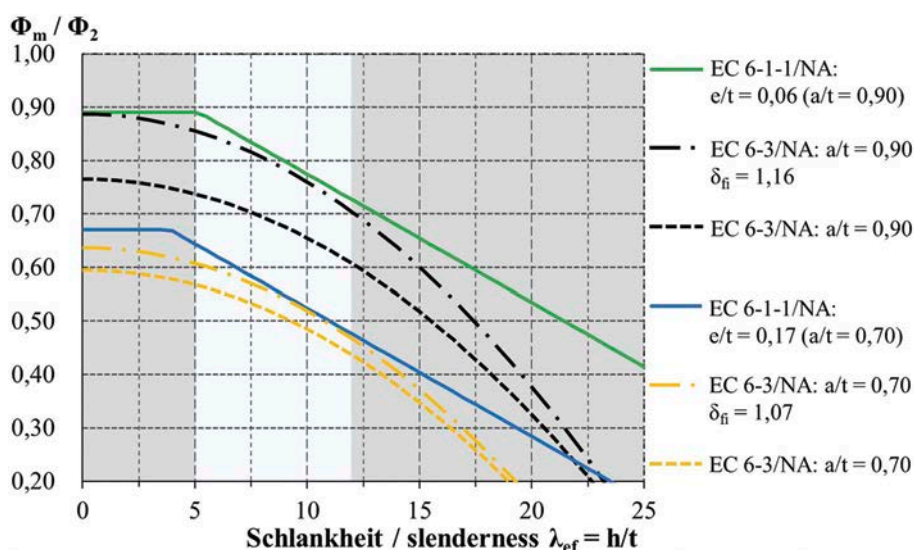


Fig. 5. Comparison of the capacity reduction factor  $\Phi_m$  according to DIN EN 1996-1-1/NA and  $\Phi_2$  according to DIN EN 1996-3/NA for various ratios  $a/t$  (2)

Bild 5. Vergleich der Abminderungsbeiwerte  $\Phi_m$  nach DIN EN 1996-1-1/NA und  $\Phi_2$  nach DIN EN 1996-3/NA für verschiedene Verhältnisse  $a/t$  (2)

imum eccentricity, which corresponds to approximately the bearing length  $a/t = 0.90$ , the factor  $\delta_{fi}$  increases, with which the permissible loading level  $\alpha_{fi,max}$  may be increased, initially from  $\delta_{fi} = 1.06$  to  $\delta_{fi} = 1.16$  and falls with reducing bearing length back to a value of  $\delta_{fi} = 1.06$  at  $a/t = 2/3$ . In-between, linear interpolation is possible.

This assessment applies for the least favourable slenderness in each case, at which the curves of load capacity just meet tangentially, which is the case approximately near  $\lambda_{ef} = 10$ . For lower slendernesses, a larger increase factor might be possible. This is given as an example in Table 1 for a wall with slenderness  $\lambda_{ef} = 7.5$  (corresponding

gere Traglasten ergeben. Die Differenz variiert dabei nicht nur in Abhängigkeit der Schlankheit, sondern auch in Abhängigkeit der bezogenen Auflagertiefe. Die maximale Differenz tritt in etwa bei  $a/t = 0,9$  auf, was u.a. in der nach DIN EN 1996-1-1/NA anzusetzenden Mindestausmitte  $e/t = 0,05$  begründet liegt.

Anhand dieses Vergleichs der Abminderungsbeiwerte in Abhängigkeit der Auflagertiefe lassen sich Erhöhungsfaktoren  $\delta_{fi}$  derart definieren, dass die Kurven der vereinfachten Berechnungsmethoden diejenigen nach DIN EN 1996-1-1/NA gerade tangieren (vgl. strichpunktierte Linien in Bild 4 und Bild 5). Dies führt zu dem in

Table 1. Definition of the increase factor  $\delta_{fi}$  depending on the slenderness and the bearing length  
Tabelle 1. Definition des Erhöhungsfaktors  $\delta_{fi}$  in Abhängigkeit der Schlankheit und der Auflagertiefe

Slenderness / Schlankheit $\lambda_{ef}$	Increase factor / Erhöhungsfaktor $\delta_{fi}^*$			
	$a/t = 1$	$a/t = 0.90$	$a/t = 0.75$	$a/t = 2/3$
$\lambda_{ef} \approx 10$ (most unfavourable value / ungünstigster Wert)	1.06	1.16	1.10	1.06
$\lambda_{ef} = 7.5$	1.07	1.18	1.11	1.07

\* Linear interpolation is allowed for intermediate values of the normalized bearing length. / Zwischenwerte der bezogenen Auflagertiefe dürfen linear interpoliert werden.

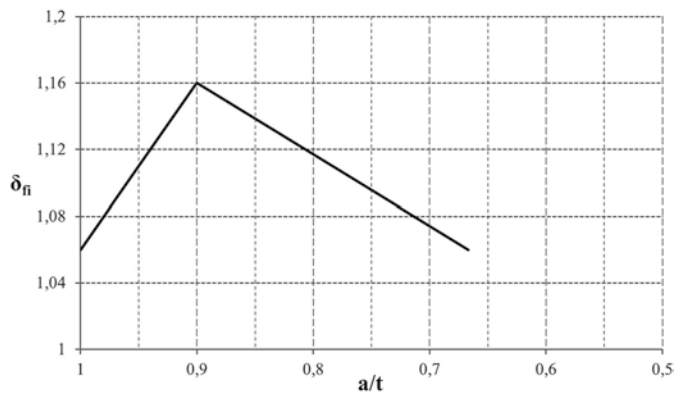


Fig. 6. Increase factor  $\delta_{fi}$  depending on the normalized bearing length  $a/t$  for the governing slenderness  $\lambda_{ef}$   
Bild 6. Erhöhungsfaktor  $\delta_{fi}$  in Abhängigkeit der bezogenen Auflagertiefe  $a/t$  für die maßgebende Schlankheit  $\lambda_{ef}$

to a height of  $h_{ef} = 2.75$  m and a wall thickness  $t = 0.365$  m). Finally it can be stated that with this proposal, a simple approximation of the permissible maximum design value of the vertical load in fire  $\max N_{Ed,fi}$  can be achieved using the simplified calculation methods.

## 6 Summary

In this article, the structural fire design of masonry is considered in more detail. After an explanation of the verification procedure using loading levels, two approaches are proposed for a more efficient structural fire design. It is demonstrated that a more precise calculation of the reduction factor for the design value of the actions in fire  $\eta_{fi}$  leads to a significant reduction of the loading level  $\alpha_{fi}$  and thus to smaller minimum wall thicknesses. In order to avoid a constructional load centring in case of fire, it is recommended to select a sufficiently large bearing length ( $a/t > 0.7$ ), which considering the new Supplement 2 to DIN 4108 does not cause a problem with regard to thermal insulation either. For the case of smaller bearing lengths, a proposal is made how the verification of the fire resistance of walls under partially supported slabs subjected to low vertical loads and simultaneous a load eccentricity  $e_{mk,fi} > t/6$  can nonetheless be achieved. Finally there is a critical consideration of the structural fire design with products regulated by approvals. It turns out here that the permissible maximum value of the loading level  $\alpha_{fi}$  can be increased by 6 to 16% with design based on DIN EN 1996-3/NA in order to obtain the same loadbearing capacities as with the use of DIN EN 1996-1-1/NA. In addition the loadbearing capacity in the cold case  $N_{Rd}$ , which is used in the determination of the loading level  $\alpha_{fi}$ , may be multiplied with the inverse of the long-term factor and thus increased. With these tools, structural engineers have the possibility of considerably improving the efficiency of the verification of the fire resistance of masonry.

*We wish to thank the Deutsche Poroton GmbH for their support of the research work that this article is based on.*

Tab. 1 dargestellten Vorschlag zur Definition der Erhöhungsfaktoren, welcher in Bild 6 auch grafisch veranschaulicht wird. Bis zum Erreichen der Mindestausmitte, was ungefähr der Auflagertiefe  $a/t = 0,90$  entspricht, steigt der Faktor  $\delta_{fi}$ , mit welchem der zulässige Ausnutzungsfaktor  $\alpha_{fi,max}$  erhöht werden darf, zunächst von  $\delta_{fi} = 1,06$  auf  $\delta_{fi} = 1,16$  an und fällt mit abnehmender Auflagertiefe wieder auf einen Wert von  $\delta_{fi} = 1,06$  bei  $a/t = 2/3$ . Dazwischen ist eine lineare Interpolation möglich.

Diese Auswertung gilt für die jeweils ungünstigste Schlankheit, bei der sich die Traglastfaktorkurven gerade tangieren, was etwa in der Nähe von  $\lambda_{ef} = 10$  der Fall ist. Für geringere Schlankheiten ist ggf. ein größerer Erhöhungsfaktor möglich. Beispielhaft ist dies für eine Wand mit der Schlankheit  $\lambda_{ef} = 7,5$  (entspricht einer Höhe  $h_{ef} = 2,75$  m und der Wanddicke  $t = 0,365$  m) in Tab. 1 ebenfalls angegeben. Abschließend kann konstatiert werden, dass mit diesem Vorschlag eine einfache Angleichung der maximal zulässigen Normalkraft im Brandfall  $\max N_{Ed,fi}$  bei Verwendung der vereinfachten Berechnungsmethoden erreicht werden kann.

## 6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die Bemessung von Mauerwerk im Brandfall genauer betrachtet. Nach der Darstellung des Nachweisverfahrens mit Hilfe von Ausnutzungsfaktoren werden zwei Ansätze für eine optimierte Bemessung im Brandfall vorgeschlagen. Es wird gezeigt, dass eine genauere Berechnung des Abminderungsbeiwerts der Bemessungslast im Brandfall  $\eta_{fi}$  zu einer signifikanten Reduktion des Ausnutzungsfaktors  $\alpha_{fi}$  und damit zu geringeren Mindestwanddicken führt. Zur Vermeidung einer konstruktiven Lastzentrierung im Brandfall wird empfohlen, die Auflagertiefe hinreichend groß zu wählen ( $a/t > 0,7$ ), was bei Berücksichtigung des neuen Beiblatts 2 der DIN 4108 auch aus Sicht des Wärmeschutzes kein Problem darstellt. Für den Fall geringerer Auflagertiefen wird ein Vorschlag unterbreitet, wie der Nachweis des Feuerwiderstands von Wänden unter teilaufliegenden Decken mit geringer Normalkrafteinwirkung und gleichzeitiger Lastexzentrizität  $e_{mk,fi} > t/6$  dennoch erfüllt werden kann. Abschließend erfolgt eine kritische Betrachtung der Bemessung im Brandfall bei zulassungsgeregelten Produkten. Es zeigt sich hier, dass der zulässige Maximalwert des Ausnutzungsfaktors  $\alpha_{fi}$  bei Bemessung auf Basis von DIN EN 1996-3/NA um 6% bis 16% erhöht werden kann, um die gleichen Tragfähigkeiten wie bei Verwendung von DIN EN 1996-1-1/NA zu erhalten. Außerdem darf die Tragfähigkeit im Kaltfall  $N_{Rd}$ , welche bei der Bestimmung des vorhandenen Ausnutzungsfaktors  $\alpha_{fi}$  verwendet wird, mit dem Kehrwert des Dauerstandsfaktors multipliziert und damit erhöht werden. Mit diesen Stellschrauben haben Tragwerksplaner die Möglichkeit, die Effizienz des Nachweises des Feuerwiderstands von Mauerwerk deutlich zu steigern.

*Wir bedanken uns bei der Deutschen Poroton GmbH für die Förderung der diesem Beitrag zugrunde liegenden Forschungsarbeiten.*

## References – Literatur

- [1] DIN EN 1996-1-2/NA (2013-06) *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*, Beuth-Verlag, Berlin.
- [2] Hahn, C. (2013) *Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Eurocode 6 – Erläuterungen zum Nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-2* in: Jäger, W. [Hrsg.] *Mauerwerk-Kalender 2013. Bauen im Bestand*, Ernst & Sohn, Berlin, S. 413–446.
- [3] 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 1996-1-2:2005 + AC:2010*, Beuth-Verlag, Berlin.
- [4] DIN EN 1990/NA (2010-12) *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung (2010-12) inklusive Änderung A1 (2012-08)*, Beuth-Verlag, Berlin.
- [5] DIN EN 1996-1-1/NA (2012-05) *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk (2012-05)*, Beuth-Verlag, Berlin.
- [6] Zehfuß, J.; Brunkhorst, S.; Mittmann, T. (2017) *Brand-schutzbemessung von Mauerwerk nach Eurocode 6* in: Graubner, C.-A.; Rast, R. [Hrsg.] *Mauerwerksbau – Praxis-handbuch für Tragwerksplaner*, Beuth-Verlag, Berlin, Wien, Zürich, E.23–E.33.
- [7] DIN 4108 Beiblatt 2 (2019-06) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele*, Beuth-Verlag, Berlin.

## Authors – Autoren

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner  
graubner@massivbau.tu-darmstadt.de  
Benjamin Purkert M. Sc.  
purkert@massivbau.tu-darmstadt.de

both / beide:  
Technische Universität Darmstadt  
Institut für Massivbau  
Franziska-Braun-Str. 3  
D-64287 Darmstadt



Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel  
im Bundesverband der Deutschen  
Ziegelindustrie e. V.  
Reinhardtstraße 12-16  
10117 Berlin

+49 (0)30 / 5200 999-24  
[argemauerziegel@ziegel.de](mailto:argemauerziegel@ziegel.de)  
[www.ziegel.de](http://www.ziegel.de)