



Bemessung von Fensterbrüstungen aus Mauerwerk unter Ansatz der Biegezugfestigkeit

Brüstungsmauerwerk wird in der Bemessung häufig vernachlässigt. Muss ein Nachweis jedoch explizit geführt werden, so ist dies häufig nur unter Ansatz der Biegezugfestigkeit wirtschaftlich möglich. Für diesen Anwendungsfall werden zwei Bemessungsverfahren vorgestellt, mit denen Brüstungsmauerwerk als freistehende Wand unter Ansatz der Biegezugfestigkeit nachgewiesen werden kann. Neben einem allgemeinen Verfahren auf Basis einer linear-elastischen Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Mauerwerks, welches sowohl bei voll- als auch bei teilaufliegender Decke anwendbar ist, wird ein zweiter Ansatz vorgestellt, der eine vorhandene Deckenrandschale berücksichtigt und somit speziell für Brüstungsmauerwerk mit verringerter Auflagertiefe gilt. Beide Verfahren lassen sich mit geringfügigen Anpassungen auch zur Bemessung freistehender Wände anwenden. Abschließend wird exemplarisch die zulässige Höhe einer Brüstung aus Ziegelmauerwerk für verschiedene Anwendungsfälle bestimmt und in Abhängigkeit der einwirkenden Windlast tabelliert angegeben.

Stichworte Zugfestigkeit; Brüstung; Brüstungsmauerwerk; teilaufliegende Decke; Bemessungsverfahren; iterative Lösung; tabellarische Lösung; Ziegelmauerwerk

1 Einführung

Brüstungen unter Fensteröffnungen sind in nahezu sämtlichen Wohn- und Nichtwohngebäuden vorhanden. Üblicherweise erhalten Fensterbrüstungen bei der Bemessung nur wenig Aufmerksamkeit, da bei üblichen Brüstungshöhen und Fensterbreiten eine ausreichende Tragfähigkeit offensichtlich gegeben ist. Ist die Tragfähigkeit jedoch nicht offensichtlich, beispielsweise bei sehr breiten Fenstern oder unter Fensterbändern, stellt sich die Frage, wie Fensterbrüstungen aus Mauerwerk bemessen werden können, ohne einen Stahlbetonbalken am oberen Brüstungsrand anordnen zu müssen. Es lässt sich schnell feststellen, dass eine Bemessung nach DIN EN 1996/NA schon bei geringer Windbeanspruchung nur sehr schwer möglich ist. Dies liegt primär in der normativen Vernachlässigung der Mauerwerkszugfestigkeit begründet, denn diese Nichtberücksichtigung führt dazu, dass eine Momentenbeanspruchung nur bei gleichzeitiger Normalkraftbeanspruchung aufnehmbar ist. Eine wirtschaftliche Bemessung windbeanspruchten Brüstungsmauerwerks ist daher nur unter Ansatz der Biegezugfestigkeit von Mauerwerk möglich.

Die nachfolgend vorgestellten Bemessungsansätze betrachten die Brüstung als freistehende Wand ohne horizontale Halterungen am Brüstungskopf. Auch eine seitli-

Design of masonry window parapets considering flexural tensile strength

Parapet masonry is often neglected in design. However, if verification is explicitly necessary, this is often economically feasible only on the basis of flexural tensile strength. For this application, two design methods are presented with which parapet masonry can be designed as a freestanding wall considering the flexural tensile strength. In addition to a general method based on linear-elastic stress-strain relationship of the masonry, which is applicable to both fully and partially supported slabs, a second approach is presented, which takes into account an existing slab edge shell and thus applies especially for parapet masonry with reduced bearing length. Both methods can also be used to design freestanding walls with minor adjustments. Finally, the permissible height of a parapet made of brickwork is determined exemplarily for various applications and indicated in tabular form depending on the acting wind load.

Keywords tensile strength; design; window parapet

che Halterung durch das aufgehende Mauerwerk wird auf der sicheren Seite liegend nicht in Ansatz gebracht. Gleichzeitig bleiben aufgrund der niedrigen Brüstungshöhen (üblicherweise in der Größenordnung 0,90 m bis 1,2 m) und der damit einhergehenden geringen Schlankheit Effekte aus Theorie II. Ordnung unberücksichtigt.

2 Allgemeiner Ansatz zur Bemessung von Brüstungsmauerwerk

Der allgemeine Ansatz zur Bemessung von Fensterbrüstungen aus Mauerwerk basiert auf dem Hookeschen Gesetz und unterstellt demnach einen linearen Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung nach Gl. (1). Diese Annahme ist gerechtfertigt, da im Bereich unter Fenstern infolge der geringen Normalkrafteinwirkung nur sehr geringe Druckspannungen auftreten und sich eine ggf. vorhandene Nichtlinearität der Arbeitslinie daher nicht auswirkt.

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} \quad (1)$$

mit

σ_d Bemessungswert der Vertikalspannung, Zug oder Druck,

- N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft,
- A Auflagerfläche der Mauerwerkswand. Es gilt:
 $A = a \cdot l$,
- a Auflagertiefe,
- l Länge der Brüstung,
- M_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes am Wandfuß bezogen auf die Auflagerachse.
- W Widerstandsmoment am Wandfuß. Es gilt:
 $W = a^2 \cdot l/6$.

Neben dem Wandeigengewicht G leistet – je nach Art der Befestigung – lediglich das Eigengewicht des Fensters V_F einen zusätzlichen Beitrag zur einwirkenden Normalkraft. Da das Fenster aus bauphysikalischen Gründen in der Regel exzentrisch nach außen angeordnet ist, resultiert aus dem Eigengewicht des Fensters gleichzeitig eine Biegebeanspruchung in der Wand. Diese ist mit der aus der angreifenden Windlast w entstehenden Biegebeanspruchung zu überlagern. Vor dem Hintergrund der in DIN EN 1991-1-4/NA [1] definierten Außendruckbeiwerte ist zu konstatieren, dass eine Windsogbeanspruchung den maßgebenden Bemessungsfall darstellt, da die Sogbeanspruchung in den Bereichen A und B die Druckbeanspruchung des Bereiches D betragsmäßig überschreiten bzw. dieser entsprechen. Dies gilt insbesondere im Fall einer verringerten Auflagertiefe der Decke ($a < t$). Befindet sich die nachzuweisende Brüstung im Bereich C ist in seltenen Fällen eine Unterscheidung zwischen Winddruck- und Windsogbeanspruchung notwendig. Der im Regelfall maßgebende Beanspruchungszustand ist in Bild 1 unter Angabe der geometrischen Größen veran-

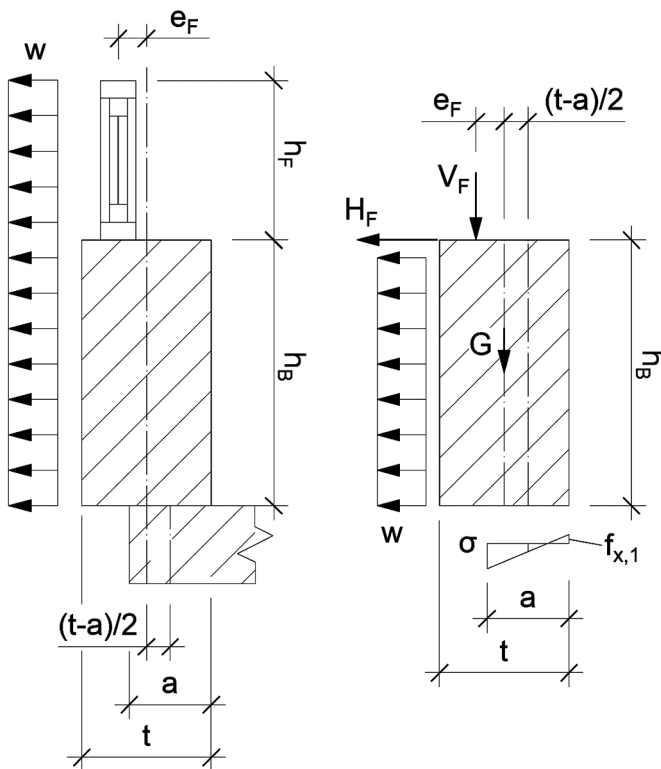


Bild 1 Veranschaulichung der Bemessung von Brüstungen am Beispiel einer teilauffliegenden Decke
Illustration of the design of parapets using the example of a partially supported slabs

schaulich. Zusätzlich zu der auf das Brüstungsmauerwerk einwirkenden Windlast wird unterstellt, dass das Fenster die auf sich einwirkende Windlast jeweils zur Hälfte nach oben und unten abträgt, weshalb am Wandkopf der Brüstung eine zusätzliche Horizontalkraft H_F nach Gl. (2) wirkt.

$$H_F = w_{Ed} \cdot \frac{h_F}{2} \cdot l \quad (2)$$

mit

- H_F Bemessungswert der Horizontalkraft am Kopf der Brüstung,
- w_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Windlast (Sog positiv),
- h_F Fensterhöhe.

Bei üblichen Windlasten und Brüstungshöhen kann davon ausgegangen werden, dass die Mauerwerksdruckfestigkeit nicht erreicht wird. Auf Basis des in Bild 1 gezeigten resultierenden Spannungszustandes lässt sich das aufnehmbare Biegemoment durch Umstellung von Gl. (1) und unter Ansatz der Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge (mit Rissen parallel zur Lagerfuge) $\sigma \leq f_{xd1}$ nach Gl. (3) ermitteln. Bei Vernachlässigung der Mauerwerkszugfestigkeit ist in Gl. (3) $f_{xd1} = 0$ einzusetzen.

$$M_{Ed} \leq \left(f_{xd1} + \frac{N_{Ed}}{A} \right) \cdot W \quad (3)$$

mit

- f_{xd1} Biegezugfestigkeit des Mauerwerks senkrecht zur Lagerfuge (Risse parallel zur Lagerfuge).

Das Ziel dieses Bemessungsverfahrens ist es, praxisgerechte Bemessungstabellen zu generieren, aus denen anhand der geometrischen Randbedingungen sowie der einwirkenden Windlast direkt die zulässige Brüstungshöhe abgelesen werden kann. Hierzu ist Gl. (3) nach dem Bemessungswert der Windlast w_{Ed} aufzulösen und anschließend nach der zulässigen Brüstungshöhe h_B umzustellen. Der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft ergibt sich dafür aus Gl. (4) und das auf die Auflagerachse bezogene Biegemoment aus Gl. (5). Dabei sind die Einwirkungen mit positiven Vorzeichen entsprechend der in Bild 1 dargestellten Wirkungsrichtung anzusetzen.

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot \gamma_{MW} \cdot t \cdot h_B \cdot l + V_F = g_{MW} \cdot h_B \cdot l + V_F \quad (4)$$

$$M_{Ed} = V_F \cdot \left(e_F + \frac{t-a}{2} \right) + g_{MW} \cdot h_B \cdot l \cdot \frac{t-a}{2} + w_{Ed} \cdot l \cdot \left(\frac{h_B^2}{2} \right) + H_F \cdot h_B \quad (5)$$

mit:

- γ_G Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen,
- γ_{MW} Wichte des Mauerwerks in kN/m^3 ,
- t Wanddicke in m,

- h_B Brüstungshöhe in m,
- V_F Bemessungswert der Vertikallast aus dem aufstehenden Fenster in kN,
- g_{MW} Bemessungswert des Eigengewichts des Mauerwerks in kN/m²,
- e_F Exzentrizität des Fensters zur Wandachse in m.

Durch Einsetzen der Gln. (2), (4) und (5) in Gl. (3) ergibt sich schließlich der maximale Bemessungswert der Windlast w_{Ed} nach Gl. (6). Für die Ermittlung der zulässigen Brüstungshöhe gilt Gl. (7). Dabei ist insbesondere bei teilaufliegender Decke zu beachten, dass sowohl das Eigengewicht des Fensters als auch das der Wand sowohl günstig als auch ungünstig wirken kann und entsprechend verschiedene Lastfallkombinationen überprüft werden müssen.

$$w_{Ed} \leq \frac{\frac{g_{MW} \cdot h_B \cdot l + V_F}{a \cdot l} - \frac{6}{a^2 \cdot l} \cdot \left[V_F \cdot \left(e_F + \frac{t-a}{2} \right) + g_{MW} \cdot h_B \cdot l \cdot \frac{t-a}{2} \right] + f_{xd1}}{3 \cdot \frac{h_B^2}{a^2} \cdot \left(1 + \frac{h_F}{h_B} \right)} \quad (6)$$

$$\max h_B = \frac{-3 \cdot g_{MW} \cdot l \cdot \frac{t-a}{2} - 3 \cdot h_F \cdot w_{Ed} + g_{MW} \cdot a \cdot l}{6 \cdot w_{Ed}} + \sqrt{\left(\frac{3 \cdot g_{MW} \cdot l \cdot \frac{t-a}{2} + 3 \cdot h_F \cdot w_{Ed} - g_{MW} \cdot a \cdot l}{6 \cdot w_{Ed}} \right)^2 - \frac{1}{3 \cdot w_{Ed}} \cdot \left(6 \cdot V_F \cdot \left(e_F + \frac{t-a}{2} \right) - V_F \cdot a - f_{xd1} \cdot a^2 \cdot l \right)} \quad (7)$$

Die Auswertung dieses Berechnungsansatzes zeigt, dass je nach Größe der Biegezugfestigkeit Brüstungen auch rechnerisch nachweisbar sind. Die realisierbaren Brüstungshöhen für übliche Festigkeiten von Mauerwerk sind jedoch begrenzt, was zur Entwicklung eines modifizierten Bemessungsansatzes veranlasst.

3 Bemessung von Brüstungsmauerwerk bei teilaufliegender Decke unter Ansatz der Deckenrandschale

Der Bemessungsansatz, welcher speziell bei teilaufliegender Decke und Verwendung einer Deckenrandschale gilt, basiert auf dem in Abschnitt 2 beschriebenen Modell. Zur Berücksichtigung der Deckenrandschale erfolgt jedoch eine Modifizierung der zugrunde liegenden Spannungsverteilung. Anstelle der Auflagertiefe der Brüstung auf der Decke a steht nun die gesamte Querschnittsdicke t im Fokus der Betrachtung. Außerdem reicht es nicht aus, den Nachweis allein auf Spannungsebene zu führen, sondern es ist zunächst die Dehnungsverteilung zu wählen. Der Berechnungsansatz unterstellt, dass sich über die ge-

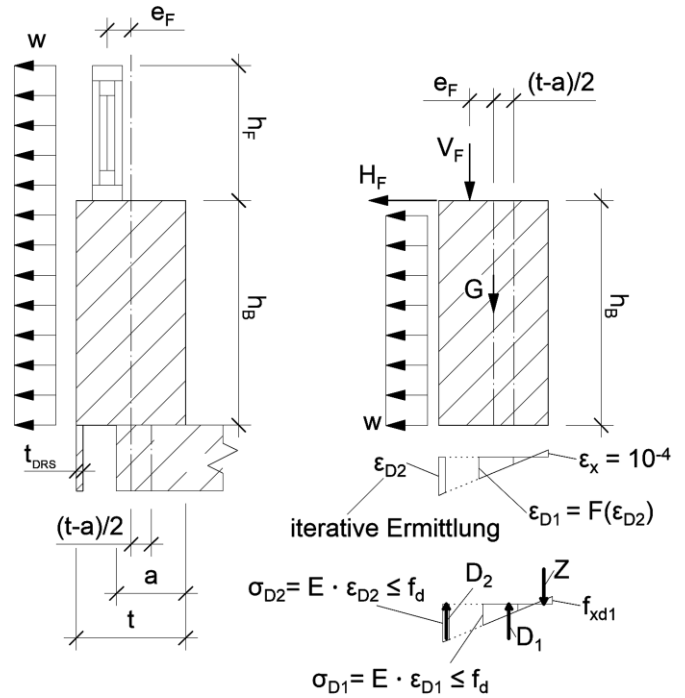


Bild 2 Veranschaulichung der Bemessung von Brüstungen mit teilaufliegender Decke und Deckenrandschale
Illustration of the design of parapets with partially supported slabs and slab edge shell

samte Dicke t sowohl im Druck- als auch im Zugbereich eine lineare Dehnungsverteilung wie in Bild 2 gezeigt einstellt. Dabei entspricht der Elastizitätsmodul im Druckbereich dem Rechenwert nach DIN EN 1996-1-1/NA [2] gemäß Gl. (8).

$$E_{MW,D} = K_E \cdot f_k \quad (8)$$

mit

- K_E Kennzahl zur Bestimmung des E-Moduls,
- f_k charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit.

Für den E-Modul unter Zugbeanspruchung senkrecht zur Lagerfuge existieren derzeit keine belastbaren Werte, sodass Gl. (8) nicht anwendbar ist. In Anlehnung an den in DIN EN 1996-1-1/NA, Abs. 7.2 angegebenen Randdehnungsnachweis, welcher das Aufreißen des Querschnitts überprüft, wird daher angenommen, dass die Zugspannung bei einer Dehnung am Querschnittsrand von $\epsilon_R = 10^{-4}$ die Biegezugfestigkeit erreicht, sodass sich der Zug-E-Modul nach Gl. (9) ergibt:

$$E_{MW,Z} = \frac{f_{xd1}}{\epsilon_R} = 10.000 \cdot f_{xd1} \quad (9)$$

Mittels der derart bestimmten Elastizitätsmoduln lassen sich die Spannungen aus der Dehnungsverteilung ermitteln. Dabei besteht lediglich im Bereich der Deckenrandschale die Möglichkeit, die Druckfestigkeit des Mauerwerks zu erreichen. In Bild 2 sind die zugrunde gelegten Dehnungen und Spannungen des entwickelten Berechnungsverfahrens visualisiert.

Während sich die resultierenden Kräfte aus der Spannungsverteilung relativ einfach bestimmen lassen, ist zur Ermittlung des aufnehmbaren Biegemomentes aufgrund der – im Vergleich zum in Abschnitt 2 beschriebenen Ansatz – komplexeren Verteilung von Zug- und Druckkräften im Auflagerbereich eine iterative Ermittlung der Dehnungsverteilung, ähnlich wie im Stahlbetonbau, erforderlich. Hierzu wird die Dehnung auf der Druckseite (Seite der Deckenrandschale) variiert, während die Dehnung auf der Zugseite mit $\varepsilon = 10^{-4}$ konstant bleibt. Sobald ein Gleichgewichtszustand der Kräfte ($D_1 + D_2 + Z = 0$) erreicht und die Iteration beendet ist, kann die Momenten Tragfähigkeit mithilfe von Gl. (10) bestimmt werden. Übersteigt das derart ermittelte aufnehmbare Biegemoment den Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes, ist der Nachweis des Brüstungsmauerwerks erfüllt. Der Bemessungsablauf ist in Bild 3 schematisch als Flussdiagramm dargestellt.

$$M_{Rd} = D_1 \cdot x_{D1} + D_2 \cdot x_{D2} - Z \cdot x_Z - N_{Ed} \cdot t/2 \quad (10)$$

Um mit diesem Verfahren die maximal zulässige Brüstungshöhe zu erhalten, wird bei sukzessiver Steigerung der Brüstungshöhe der in Bild 3 gezeigte Verfahrensablauf so lange hintereinander durchgeführt, bis der Nachweis der Momenten Tragfähigkeit nicht mehr erfüllt werden kann.

Anzumerken ist, dass dieser Bemessungsansatz nur für den Beanspruchungszustand Zugspannung auf der Wandinnenseite zutreffend ist. Sollte eine große Winddruckbeanspruchung dazu führen, dass die Innenseite überdrückt ist und auf der Außenseite an der Deckenrandschale Zugspannungen auftreten, so ist hier der Ansatz der Zug-

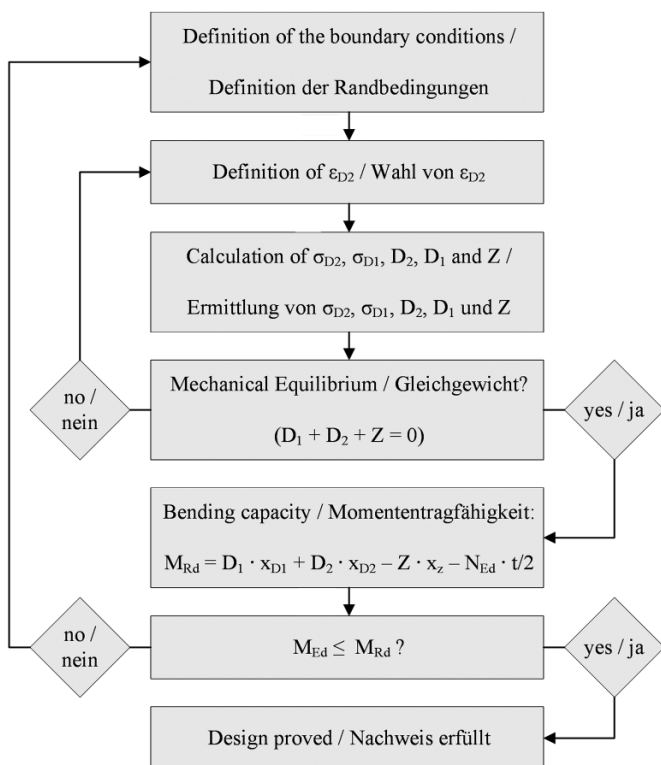


Bild 3 Ablauf der Bemessung
Design process

festigkeit nicht zulässig und es muss das in Abschnitt 2 beschriebene Verfahren angewendet werden. Dieser Fall tritt jedoch nur bei sehr großen Windlasten in Verbindung mit großen Fensteröffnungen auf und wird gegenüber der Einwirkungskombination mit Windsogbeanspruchung nur selten bemessungsrelevant.

4 Zulässige Brüstungshöhen von Ziegelmauerwerk

4.1 Zugrunde liegende Randbedingungen

Der Nachweis der Tragfähigkeit einer Brüstung mit bereits bekannten Eingangsgrößen ist insbesondere bei Anwendung des iterativen Ansatzes nach Abschnitt 3 nicht praktikabel für eine schnelle Handrechnung. Daher ist es zielführend, die iterativ ermittelten Tragfähigkeiten in anwenderfreundliche Bemessungstabellen zu überführen, die eine effiziente Bemessung ermöglichen.

Während beide beschriebenen Verfahren grundsätzlich allgemeingültig anwendbar sind, ist zur Angabe konkreter Ergebniswerte zunächst eine Definition der zugrunde liegenden Randbedingungen erforderlich. Die Auswertung erfolgt am Beispiel von Ziegelmauerwerk mit Dünnbettmörtel und teilauf liegender Decke. Als Deckenrandschale findet das Produkt POROTON®-DRS® [3] mit einer Ziegelschalendicke von 15 mm Verwendung, für welches sich in Druckfestigkeitsprüfungen eine umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit $f_{st} = 9,93 \text{ N/mm}^2$ ergibt. Unter Verwendung von Gl. (11) lässt sich daraus der charakteristische Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit der DRS zu $f_k = 2,5 \text{ N/mm}^2$ berechnen. Höhere Mauerwerksdruckfestigkeiten können daher nicht angesetzt werden. Allerdings ist eine geringere Druckfestigkeit des Mauerwerks möglich, weshalb die resultierenden Brüstungshöhen beispielhaft auch für $f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$ dargestellt sind.

$$f_k = 0,50 \cdot f_{st}^{0,70} \quad (11)$$

Der Ansatz der Biegezugfestigkeit von Mauerwerk senkrecht zur Lagerfuge ist bei Ziegelmauerwerk normativ nicht zulässig. Allerdings zeigen experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Wandprüfkörpern aus Hochlochziegeln in [4] (siehe hierzu auch die Prüfberichte [5–8]) sowie in [9] und [10], dass charakteristische Werte der Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge f_{xk1} zwischen $0,15 \text{ N/mm}^2$ und $0,22 \text{ N/mm}^2$ realistisch sind. In den nachfolgend dargestellten Tabellen bzw. Diagrammen wird die Biegezugfestigkeit daher mit $f_{xk1} = 0,2 \text{ N/mm}^2$ angesetzt. Im Einzelfall ist der ansetzbare Wert ggf. in Abstimmung mit dem Prüfenieur festzulegen.

Der Versatz des Fensters zur Wandachse beträgt in Anlehnung an die praxisübliche Ausführungsart ein Drittel der Wanddicke $e_F/t = 1/3$. Die Vertikallast des Fensters V_F basiert auf den in [11] und [12] enthaltenen Angaben zum Eigengewicht des Blend- und Flügelrahmens (jeweils $3,5 \text{ kg/m}$) sowie von Isolierglas ($2,5 \text{ kg/mm} \cdot \text{m}^2$) und berechnet sich in Abhängigkeit der berücksichtigten Fensterhöhe h_F , wobei

Tab. 1 Randbedingungen und untersuchte Parameter
Boundary conditions and considered parameters

Parameter	Formelzeichen	Wert	Bemerkung	Einfluss bei Werterhöhung
Lichte Wandhöhe	h	2,75 m; 3,0 m	–	Ungünstig
Höhe der Fensterübermauerung	h_S	0 cm; 30 cm	–	Günstig
Fensterhöhe	h_F	–	abhängig von h , h_B und h_S	Ungünstig
Wanddicke	t	30,0 cm; 36,5 cm; 42,5 cm; 49 cm	bei $a/t < 1$	Günstig
Auflagertiefe bezogen auf die Wanddicke	a/t	2/3; 0,8	–	Günstig
Dicke der Deckenrandschale	t_R	1,5 cm	gemäß [3]	Günstig
Mauerwerksdruckfestigkeit	f_k	1,8 N/mm ² ; 2,5 N/mm ²	–	Günstig
Biegezugfestig senkrecht zur Lagerfuge	f_{xk1}	0,2 N/mm ²	basierend auf [4–10]	Günstig
Kennzahl zur Bestimmung des Druck-E-Moduls	K_E	1100	nach [2]	Günstig
Windlast	w_{Ed}	0,25 kN/m ² ÷ 3,25 kN/m ²	–	Ungünstig
Wichte der Wand	γ_{MW}	6,5 kN/m ³ ÷ 11 kN/m ³	gesamter Wertebereich ist integral erfasst	*)
Vertikallast aus Fenster	$gF = V_F / (h_F \cdot l)$	~ 0,5 kN/m ²	basierend auf [11]	*)
Exzentrizität des Fensters bezogen auf die Wanddicke	e_v/t	1/6	–	Ungünstig

*) Eine Werterhöhung kann sich sowohl positiv als auch negativ auf die resultierende zulässige Brüstungshöhe auswirken.

eine Dreifachverglasung mit 4 mm Glasdicke je -scheibe zugrunde gelegt ist. Die Fensterhöhe h_F hängt von der lichten Geschosshöhe h , der Brüstungshöhe h_B und der Höhe der Fensterübermauerung (des Sturzes) h_S ab und berechnet sich in jedem Iterationsschritt neu nach Gl. (12). Die Summe aus h_B und h_F bleibt dabei stets konstant, da die lichte Geschosshöhe als Randbedingung vorgegeben ist. Als Übermauerungshöhe wird neben $h_S = 30$ cm auch $h_S = 0$ für eine Abschätzung auf der sicheren Seite betrachtet.

$$h_F = h - h_B - h_S \quad (12)$$

Die tabellierten zulässigen Brüstungshöhen decken eine Wichte des Mauerwerks zwischen 6,5 kN/m³ und 11 kN/m³ ab. Außerdem ist sowohl die günstige als auch die ungünstige Wirkung des Fenster- und Wandeigengewichts in den Tabellenwerten berücksichtigt, indem lediglich die zur maßgebenden Lastkombination gehörende zulässige Brüstungshöhe angegeben ist.

Eine Übersicht über alle (weiteren) zugrunde liegenden Eingangsparameter enthält Tabelle 1.

4.2 Bemessungstabellen

Auf Basis der in Tabelle 1 angegebenen Randbedingungen sind die zulässigen Brüstungshöhen bei Anwendung

des Verfahrens nach Abschnitt 2 ohne Ansatz der Deckenrandschale Tabelle 2 und Tabelle 3 zu entnehmen. Dort ist jeweils angegeben, welche der variablen Randbedingungen zugrunde liegen.

Es ist zu erkennen, dass der Nachweis von Brüstungsmauerwerk mit üblichen Brüstungshöhen bei verringerter Auflagertiefe z. T. nur schwer erfüllbar ist. Lediglich bei großer Wanddicke und geringer Windlast (überwiegend Windzone 1 und teilweise Windzone 2) lassen sich Brüstungen mit Auflagertiefen von $a/t = 2/3$ rechnerisch nachweisen. Dieses Ergebnis verdeutlicht die Notwendigkeit eines besser geeigneten Berechnungsansatzes.

In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind daher die unter Verwendung des Berechnungsansatzes nach Abschnitt 3 ermittelten zulässigen Brüstungshöhen zu erkennen. Wie der Vergleich der Werte mit den Ergebnissen des Ansatzes nach Abschnitt 2 (siehe Tabelle 2 bzw. Tabelle 3) zeigt, ist durch die Berücksichtigung der Deckenrandschale bereits bei niedrigen Mauerwerksdruckfestigkeiten eine deutliche Steigerung der zulässigen Brüstungshöhe möglich.

In Bild 4 ist der Unterschied zwischen den beiden hier vorgestellten Verfahren in Abhängigkeit von der einwirkenden Windlast noch einmal für fünf lichte Wand- bzw. Raumhöhen zwischen 2,50 m und 3,50 m veranschaulicht. Auch hier wird deutlich, dass der Ansatz der De-

Tab. 2 Maximale Brüstungshöhen in m für $a/t = 1$, $h = 2,75$ m, $h_s = 0,30$ m
Maximum parapet height in m for $a/t = 1$, $h = 2,75$ m, $h_s = 0,30$ m

<i>t</i> in cm	<i>a/t</i>	Bemessungswert der Windlast $w_{Ed} \leq \dots$ in kN/m ²												
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
30,0	0,8	k.E.	1,80	1,15	0,85	0,65	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25
	2/3	1,90	1,00	0,65	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15
36,5	0,8	k.E.	k.E.	1,75	1,30	1,00	0,85	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	2/3	k.E.	1,45	1,00	0,75	0,60	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,25	0,20
42,5	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	1,80	1,40	1,15	1,00	0,85	0,75	0,70	0,60	0,55	0,50
	2/3	k.E.	1,90	1,35	1,00	0,85	0,70	0,60	0,50	0,45	0,40	0,40	0,35	0,30
49,0	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	k.E.	1,90	1,60	1,35	1,15	1,05	0,90	0,85	0,75	0,70
	2/3	k.E.	k.E.	1,75	1,35	1,10	0,90	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45
Windzone	1													
	2													
	3													
	4													

k.E.: keine Einschränkung

Tab. 3 Maximale Brüstungshöhen in m für $a/t = 1$, $h = 3,00$ m, $h_s = 0,30$ m
Maximum parapet height in m for $a/t = 1$, $h = 3,00$ m, $h_s = 0,30$ m

<i>t</i> in cm	<i>a/t</i>	Bemessungswert der Windlast $w_{Ed} \leq \dots$ in kN/m ²												
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
30,0	0,8	k.E.	1,60	1,05	0,75	0,60	0,50	0,40	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20
	2/3	1,70	0,90	0,60	0,45	0,35	0,30	0,25	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,10
36,5	0,8	k.E.	2,45	1,60	1,15	0,90	0,75	0,65	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,35
	2/3	2,40	1,30	0,90	0,70	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20
42,5	0,8	k.E.	k.E.	2,20	1,60	1,25	1,05	0,90	0,75	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45
	2/3	k.E.	1,75	1,20	0,90	0,75	0,60	0,55	0,45	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30
49,0	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	2,20	1,70	1,40	1,20	1,05	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
	2/3	k.E.	2,25	1,60	1,20	1,00	0,85	0,70	0,65	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Windzone	1													
	2													
	3													
	4													

k.E.: keine Einschränkung

ckenrandschale bei der Bemessung von Brüstungen eine deutliche Steigerung der Tragfähigkeit bewirkt. Außerdem ist zu erkennen, dass die lichte Raumhöhe einen sichtbaren Einfluss auf die zulässige Brüstungshöhe hat. Daher sollten in frühen Planungsphasen keine zu konservativen Annahmen getroffen werden, um in der Ausführungs- oder Genehmigungsplanung später keine Probleme zu bekommen. Gleiches gilt für die Wanddicke und

die Deckenauflagertiefe. Der Einfluss der lichten Wandhöhe auf die zulässige Brüstungshöhe ist für die Deckenauflagertiefen $a/t = 2/3$ und $a/t = 0,8$ für eine einwirkende Windlast von $w_{Ed} = 1,50$ kN/m² zusätzlich in Bild 5 dargestellt. Hier ist die Steigerung der zulässigen Brüstungshöhe durch Berücksichtigung der Deckenrandschale noch deutlicher zu erkennen.

Tab. 4 Maximale Brüstungshöhen in m für $t_R = 1,5$ cm, $h = 2,75$ m, $h_s = 0,30$ m und $f_k = 1,8$ N/mm² bzw. 2,5 N/mm²
 Maximum parapet height in m for $t_R = 1,5$ cm, $h = 2,75$ m, $h_s = 0,30$ m, $f_k = 1,8$ N/mm² or rather 2,5 N/mm²

t in cm	a/t	Bemessungswert der Windlast $w_{Ed} \leq \dots$ in kN/m ²												
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
30,0	0,8	k.E.	k.E.	1,85 2,05	1,35 1,50	1,05 1,15	0,85 0,95	0,75 0,80	0,65 0,70	0,55 0,60	0,50 0,55	0,45 0,50	0,40 0,45	0,40 0,40
	2/3	k.E.	k.E.	1,60 1,80	1,15 1,30	0,90 1,05	0,75 0,85	0,65 0,70	0,55 0,60	0,50 0,55	0,45 0,50	0,40 0,45	0,35 0,40	0,35 0,35
36,5	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	2,00 2,20	1,55 1,75	1,30 1,40	1,10 1,20	0,95 1,05	0,85 0,90	0,75 0,80	0,65 0,75	0,60 0,65	0,55 0,60
	2/3	k.E.	k.E.	2,25 k.E.	1,65 1,85	1,30 1,45	1,05 1,20	0,90 1,05	0,80 0,90	0,70 0,80	0,60 0,70	0,55 0,65	0,50 0,60	0,45 0,55
42,5	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	k.E.	2,15 2,35	1,75 1,90	1,45 1,60	1,25 1,40	1,10 1,25	1,00 1,10	0,90 1,00	0,80 0,90	0,75 0,85
	2/3	k.E.	k.E.	k.E.	2,20 k.E.	1,70 1,95	1,40 1,60	1,20 1,35	1,05 1,15	0,90 1,05	0,80 0,90	0,75 0,85	0,70 0,75	0,60 0,70
49,0	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	k.E.	k.E.	2,35 k.E.	1,95 2,15	1,70 1,85	1,50 1,65	1,35 1,45	1,20 1,30	1,10 1,20	1,00 1,10
	2/3	k.E.	k.E.	k.E.	k.E.	2,25 k.E.	1,85 2,10	1,55 1,75	1,35 1,50	1,20 1,35	1,05 1,20	0,95 1,10	0,90 1,00	0,80 0,90
Windzone	1													
	2													
	3													
	4													

k.E.: keine Einschränkung
 1. Zeile: $f_k = 1,80$ N/mm²; 2. Zeile: $f_k = 2,50$ N/mm²

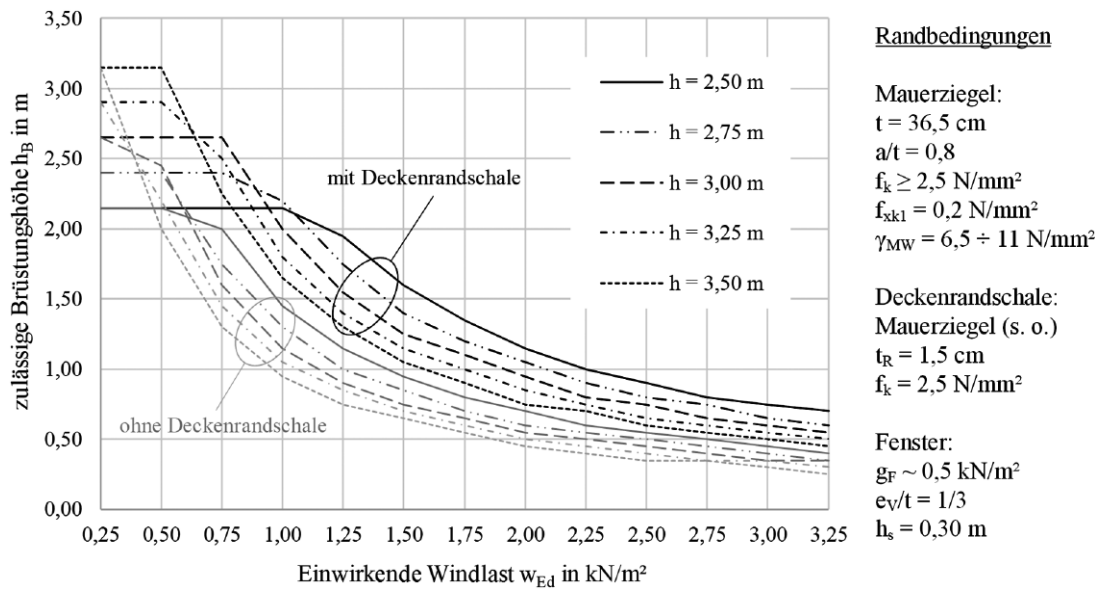


Bild 4 Zulässige Brüstungshöhe in Abhängigkeit von einwirkender Windlast und lichter Wandhöhe
 Permitted parapet height depending on the acting wind load and the clear wall height

5 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt zwei Verfahren auf, mit denen ein Tragfähigkeitsnachweis von Brüstungsmauerwerk unter Ansatz der Biegezugfestigkeit des Mauer-

werks möglich ist. Zunächst wird ein allgemeiner Ansatz auf Basis der Elastizitätstheorie vorgestellt, der sich sowohl bei voll- als auch bei teilauf liegender Decke anwenden lässt. Die zur Erfüllung des Nachweises maximal zulässige Brüstungshöhe bzw. die maximal zulässige ein-

Tab. 5 Maximale Brüstungshöhen in m für $t_R = 1,5$ cm, $h = 3,00$ m, $h_s = 0,30$ m und $f_k = 1,8$ N/mm² bzw. 2,5 N/mm²
 Maximum parapet height in m for $t_R = 1,5$ cm, $h = 3,00$ m, $h_s = 0,30$ m, $f_k = 1,8$ N/mm² or rather 2,5 N/mm²

t in cm	a/t	Bemessungswert der Windlast $w_{Ed} \leq \dots$ in kN/m ²												
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
30,0	0,8	k.E.	2,60 k.E.	1,65 1,85	1,20 1,35	0,95 1,05	0,80 0,85	0,65 0,75	0,60 0,65	0,50 0,55	0,45 0,50	0,40 0,45	0,35 0,40	0,35 0,35
	2/3	k.E.	2,20 2,50	1,40 1,60	1,05 1,20	0,80 0,95	0,70 0,75	0,55 0,65	0,50 0,55	0,45 0,50	0,40 0,45	0,35 0,40	0,30 0,35	0,30 0,35
36,5	0,8	k.E.	k.E.	2,50 k.E.	1,80 2,00	1,40 1,55	1,15 1,25	1,00 1,10	0,85 0,95	0,75 0,80	0,65 0,75	0,60 0,65	0,55 0,60	0,50 0,55
	2/3	k.E.	k.E.	2,05 2,30	1,50 1,70	1,15 1,30	0,95 1,10	0,80 0,90	0,70 0,80	0,65 0,70	0,55 0,65	0,50 0,55	0,45 0,50	0,40 0,50
42,5	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	2,45 k.E.	1,90 2,10	1,55 1,75	1,30 1,45	1,15 1,25	1,00 1,10	0,90 1,00	0,80 0,90	0,75 0,80	0,70 0,75
	2/3	k.E.	k.E.	k.E.	1,95 2,25	1,55 1,75	1,25 1,45	1,10 1,20	0,95 1,05	0,85 0,95	0,75 0,85	0,65 0,75	0,60 0,70	0,55 0,65
49,0	0,8	k.E.	k.E.	k.E.	k.E.	2,55 k.E.	2,10 2,30	1,75 1,95	1,50 1,70	1,35 1,45	1,20 1,30	1,10 1,20	1,00 1,10	0,90 1,00
	2/3	k.E.	k.E.	k.E.	2,55 k.E.	2,00 2,25	1,65 1,85	1,40 1,60	1,20 1,35	1,05 1,20	0,95 1,10	0,85 1,00	0,80 0,90	0,75 0,80
Windzone	1													
	2													
	3													
	4													

k.E.: keine Einschränkung

1. Zeile: $f_k = 1,80$ N/mm²; 2. Zeile: $f_k = 2,50$ N/mm²

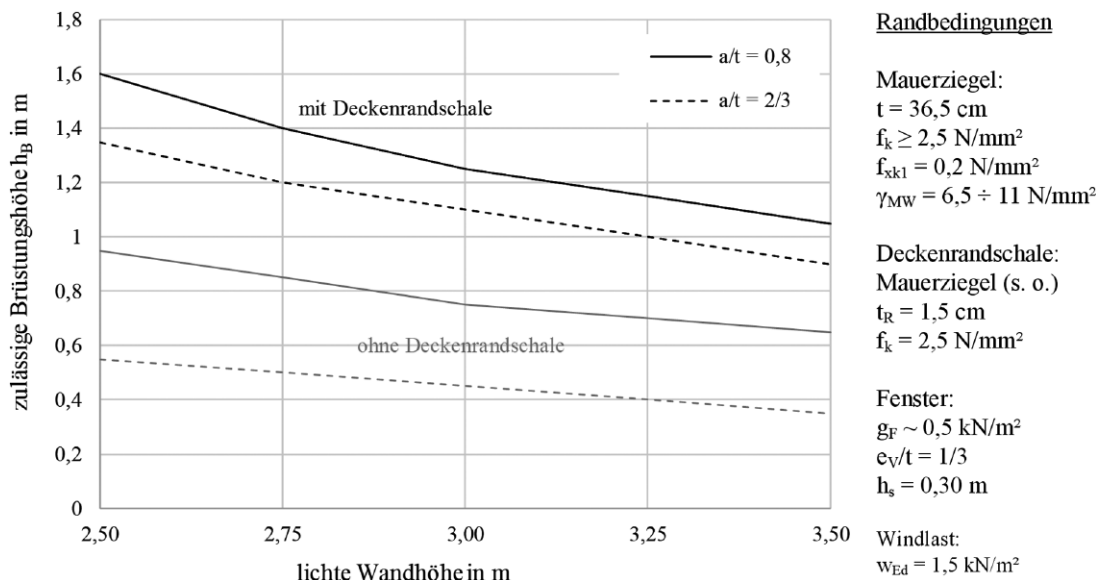


Bild 5 Zulässige Brüstungshöhe in Abhängigkeit von lichter Wandhöhe und Auflagertiefe
 Permitted parapet height depending on the clear wall height and the slab's bearing length

wirkende Windlast lassen sich mit den angegebenen Gleichungen direkt berechnen. Das zweite Bemessungsverfahren berücksichtigt explizit die vor der Deckenstirn angeordnete Deckenrandschale und gilt somit speziell für teilaufliegende Decken. Bei diesem Ansatz handelt es

sich um ein iteratives Verfahren, dessen Bemessungsablauf unter Angabe der zugrundeliegenden Annahmen und Modelle erläutert wird. Abschließend werden die sich aus den beiden Verfahren ergebenden zulässigen Brüstungshöhen tabellarisch und grafisch dargestellt. Hierfür wer-

den zunächst die Randbedingungen definiert und ausführlich erläutert. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der Deckenrandschale einen enormen tragfähigkeitssteigernden Einfluss hat. Insgesamt lässt sich konstatieren, dass der Nachweis von Brüstungsmauerwerk mit dem entwickelten Bemessungsansatz in den maßgebenden

praxisrelevanten Fällen der Windzone 1 und 2 problemlos erfüllt werden kann.

Wir bedanken uns bei der Deutsche Poroton GmbH für die Förderung der diesem Beitrag zugrundeliegenden Forschungsarbeiten.

Literatur

- [1] DIN EN 1991-1-4/NA (2010-12) Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten*. Berlin: Beuth Verlag.
- [2] DIN EN 1996-1-1/NA (2019-12) Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: *Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk*. Berlin: Beuth Verlag.
- [3] Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG (2019) *Datenblatt POROTON-DRS (DeckenRandSchale)*, https://www.schlagmann.de/media/archive2/ziegel/datenblaetter/sonderziegel/DB_DRS.pdf [Zugriff am 14.11.2019].
- [4] Fehling, E.; Ismail, M.; Samaan, S.; Meyer, U. (2015) *Flexural tensile tests with vertically perforated clay unit masonry with thin layer mortar – Biegezugversuche an Planziegelmauerwerk* in: *Mauerwerk* 19, H. 5, S. 355–362. <https://doi.org/10.1002/dama.201500671>.
- [5] Fehling, E.; Pfetzing, T. (2017) *Biegezugfestigkeit für parallel und senkrecht zu den Lagerfugen verlaufende Bruchebenen von Wänden aus Mauerziegeln ThermoPlan MZ10* [Prüfbericht], Universität Kassel, FG Massivbau.
- [6] Fehling, E.; Pfetzing, T. (2017) *Biegezugfestigkeit für parallel und senkrecht zu den Lagerfugen verlaufende Bruchebenen von Wänden aus Mauerziegeln Planziegel HLZ B* [Prüfbericht], Universität Kassel, FG Massivbau.
- [7] Fehling, E.; Pfetzing, T. (2017) *Biegezugfestigkeit für parallel und senkrecht zu den Lagerfugen verlaufende Bruchebenen von Wänden aus Mauerziegeln POROTON WDF* [Prüfbericht], Universität Kassel, FG Massivbau.
- [8] Fehling, E.; Pfetzing, T. (2017) *Aufbau und Durchführung der Versuche zur Biegezugfestigkeit für parallel und senkrecht zu den Lagerfugen verlaufende Bruchebenen von Wänden aus hochwärmedämmenden Mauerziegel* [Anhang zu Prüfberichten], Universität Kassel, FG Massivbau.
- [9] Brameshuber, W.; Saenger, D. (2010) *Auswertung der Biegezugversuche senkrecht zu den Lagerfugen von Ziegelmauerwerk mit Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel*, Forschungsbericht F 7080, ibac Institut für Bauforschung, Aachen.
- [10] Thiessen, P. (2013) *Bestimmung der Biegetragfähigkeit an geschosshohen Wänden und Wänden nach DIN EN 1052-2 aus Planhochlochziegeln und Dünnbettmörtel*, Prüfbericht Nr. 111890, MPA Bau Materialprüfanstalt für das Bauwesen, Hannover.
- [11] Scheller, E.; Küenzlen, J.; Becker, R. (2018) *Concept for determining the load-bearing capacity of a window fixing – Konzept zur Ermittlung der Tragfähigkeit eines Fensterbestigers* in: *Mauerwerk* 22, H. 3, S. 187–201. <https://doi.org/10.1002/dama.201820001>.
- [12] RAL-Gütegemeinschaft Fenster und Haustüren e.V. [Hrsg.] (2010) *Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren*, Frankfurt/Main.

Autoren

René Mazur M.Sc. (Korrespondenzautor)
rene.mazur@hochtief.de
HOCHTIEF Engineering GmbH
Consult IKS
Lyoner Straße 25
60528 Frankfurt am Main

Benjamin Purkert M.Sc.
purkert@massivbau.tu-darmstadt.de
Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau
Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner
graubner@massivbau.tu-darmstadt.de
Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau
Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt

Zitieren Sie diesen Beitrag

Mazur, R.; Purkert, B.; Graubner, C.-A. (2020) *Bemessung von Fensterbrüstungen aus Mauerwerk unter Ansatz der Biegezugfestigkeit*. *Mauerwerk* 24, H. 2, S. 81–89. <https://doi.org/10.1002/dama.202000001>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 23. Januar 2020; angenommen: 23. März 2020.