

## Die Punktlast durch einen Holzbalken auf einem älteren gemauerten Fensterbogen (Teil II)

Dipl.-Ing. Steffen Motzkau, Dipl.-Ing.oec., Ing. Peter Rauch

Nachfolgend wird die Rissbildung bei gemauerten Fensterstürze vor allem bei älteren Wohngebäuden betrachtet. Diese Risse sind nicht nur an den Außenfassaden erkennbar. Aus Kostengründen wurde auch früher bei der Herstellung von Mauermörtel mit Bindemittel gespart. Dazu kommen noch der Alterungsprozess, wo durch chemische Prozesse der Bindemittelanteil weiter verringert wird und sich die Mörtelfugen leicht heraus gekratzt lassen. Bei diesem Beispiel (Bild 1) liegt die Auflagefläche des Wangenbalkens des Treppenhauses eines Zweifamilienhauses direkt über dem Sturz. Die Risse gehen durch das gesamte Treppenhaus. Im Bild 2 wurde ein Teil des Innenputzes entfernt und es ist deutlich erkennbar, dass sich die Steine im Sturz aus dem Verband gelöst haben. Das Herausfallen der Steine wird lediglich durch die Abstützung in der Fensterlaibung verhindert.



Bild 1: Die Last durch den Wangenbalken hat den gemauerten Fenstersturz vollständig zerdrückt.



Bild 2: Sehr deutlich ist der Bruchverlauf in den Mörtelfugen des gemauerten Fenstersturzes zu erkennen. Einzelne Steine sind bereits herausgefallen.

Da im Gebäude insgesamt die Mörtelfugen sehr aussanden, also der Bindemittelanteil gering ist, wurde vorgeschlagen, kleine Stahlträger über die gesamte Treppenhauswand einmal von innen und anschließend von außen einzulegen und den Sturz neu aufzumauern. Vom Eigentümer wurden unter dem Sturz von innen zwei Ziegelträger eingesetzt und der Verband stückweise neu aufgemauert.

Nachfolgend soll noch einmal auf den Sanierungsfall bei einem älteren Mehrfamilienhaus eingegangen werden, welcher bereits im Teil I betrachtet wurde. Hier wurde eine mangelhafte Sanierung an einer Holzbalkendecke nach einem Leitungswasserschaden beschrieben. Durch die Sanierungsfirma wurden die Deckenbalken um 1 m zurück geschnitten. Die geschädigte Mauerlatte wurde entfernt und durch eine Läuferschicht aus Kalksandsteinen ersetzt (Bild 3). Da hier auch die Auflagehöhe nicht mehr stimmte, wurden die Seitenhölzer auf der Unterseite ausgeklinkt. Die Kalkmörtelfugen im Sturz sind alt und sanden aus. Zusätzlich verursacht das in die Mörtelfugen eingewachsene Pilzmycel vom Echten Hausschwamm (*Serpula lacrimans*) eine zusätzliche Lockerung des Mörtels, sodass die Druckfestigkeit weiter abgemindert wird. Damit ist die Tragfähigkeit des Fenstersturzes zusätzlich beeinträchtigt. Die gemauerten Fensterstürze haben in der Regel die Aufgabe, die Last des darüber befindlichen Mauerwerkes aufzunehmen. Nicht vorgesehen ist die zusätzliche Lastaufnahme der Deckenbalken, bestehend aus dem Eigengewicht und der Verkehrslast. Im vorliegenden Fall bedeutet der Neubau eines voll funktionstüchtigen Fenstersturzes auch die Schädigung der äußeren Fassade. Es ist das Aufstellen eines Gerüsts und weitere Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Zur Vermeidung dieser zusätzlichen Baumaßnahmen und damit verbundenen Kosten soll als Beispiel das Einsetzen eines Stahlträgers, zum Beispiel IPBI 100, betrachtet werden. Ebenso soll überprüft werden, ob die ausgebaute Mauerlatte von 8 x 8 cm einen Einfluss auf die Lastverteilung hat. Ihre eigentliche Aufgabe diene zur horizontalen Ausrichtung bei der Verlegung der Holzbalken. Im vorliegenden Fall kommt ein Neueinbau eines Holzbalkens nicht

infrage, da hier ein Hausschwammbefall vorlag und der Einbau von Holz vermieden werden muss, wenn ausreichend andere Alternativen vorliegen (vergleiche hierzu DIN 68000 - Holzschutzordnung). Durch die Sanierungsfirma wurde daher eine Läufererschicht Kalksandstein eingesetzt. Im zweiten Abschnitt erfolgt ein Durchstanznachweis mit der Mörtelgruppe I (Kalkmörtel) für einen funktionsfähigen Fenstersturz.



Bild 3: Das Lagerholz über dem gemauerten Fenstersturz wurde entfernt und durch eine Schicht Kalksandsteine ersetzt

Für die Breite der Fensteröffnung von 125 cm und einer angenommenen Auflagelänge je Seite von 25 cm könnte in diesem Fall zum Beispiel ein Stahlträger IPBI 100,  $I_y = 349 \text{ cm}^4$  und  $W_y = 72,8 \text{ cm}^3$  DIN 1025 T 3 verwendet werden (Bild 4). Eine große Auflagelänge ist günstig, da aber bei dem Stahlträger die zulässige Querkraft groß

ist, kann auch ein kürzer Träger gewählt werden. Das wie bereits das Mauerwerk nicht mehr sehr fest ist, sollte die Auflagelänge wenigstens eine Steinlänge, also 25 cm betragen. Die Deckenbalken haben eine Länge von 500 cm und einen Querschnitt 18 x 22 cm. Am Balkenaufleger liegt eine Last von 7,5 kN an und der Balkenabstand beträgt 75 cm. Die Höhe unter den Balken beträgt ca. 40 cm.

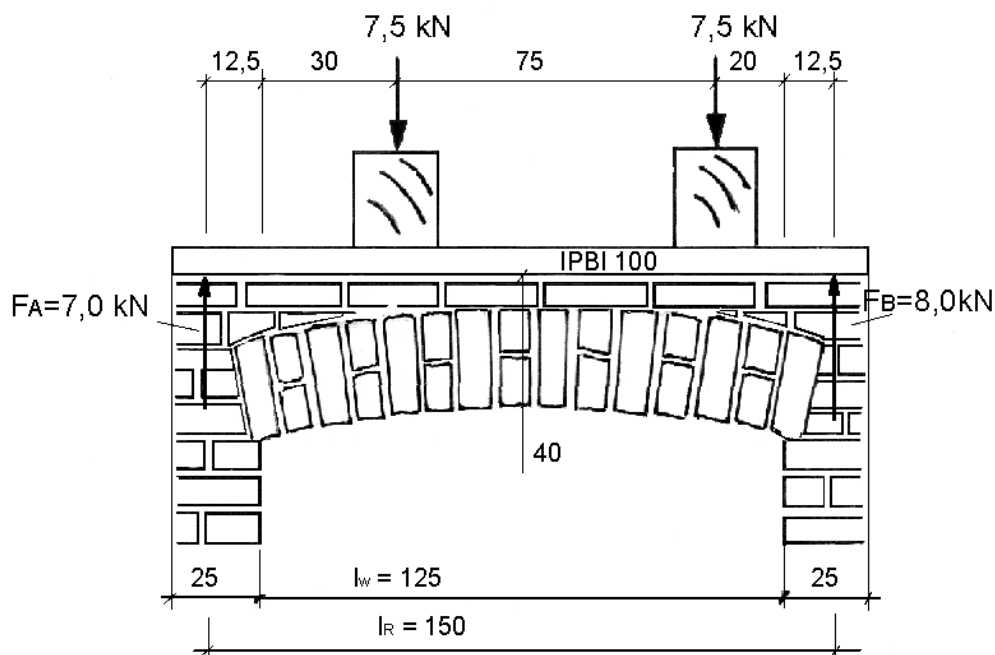


Bild 4: Skizze der Lasteintragung über dem Fenstersturz beim Einsetzen eines Stahlträgers IPBI 100

Für das Biegemoment des Stahlträgers (als Einfeldsystem angenommen) ergibt sich

$$M_{y1} = 7,0 \text{ kN} * 0,425 \text{ m} = 2,975 \text{ kNm}$$

$$M_{y2} = 8,0 \text{ kN} * 0,325 \text{ m} = 2,6 \text{ kNm}$$

(Das Eigengewicht des Stahlträgers wird vernachlässigt, da real elastisch gebetteter Balken.)

$$\sigma_x = \pm \frac{M_y}{W_y} = \frac{2975 \text{ 000 Nmm}}{72800 \text{ mm}^3} = 40,9 \text{ N/mm}^2 < 140,0 \text{ N/mm}^2 \sigma_{zul.}$$

Die ausgebaute Mauerlatte, die als Richtmaß und Auflager für das horizontale Verlegen der Deckenbalken eingebaut war, wurde durch eine Läuferschicht Kalksandsteine ersetzt (siehe Bild 3). Für den Holzbalken (VH Gkl. II) ca. 8 x 8 cm

$$W_y = 8 * 8^2/6 = 85,33 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_x = \pm \frac{M_y}{W_y} = \frac{2975 \text{ 000 Nmm}}{85330 \text{ mm}^3} = \underline{34,9 \text{ N/mm}^2} > 10,0 \text{ N/mm}^2 \sigma_{zul.}$$

Die Spannung ist um das 3,5fache überschritten. Das reale statische System für die Mauerlatte ist ein elastisch gebetteter Balken.

Im zweiten Teil wird der gemauerte Fensterboden (flache Kappe) betrachtet, welcher im statischen Sinne ein Tragwerk mit gekrümmter Stabachse und zwei festen oder eingespannten Auflagern ist. Im Hochbau werden sie gelenklos mit Flächenlagern ausgeführt und sind statisch unbestimmt. Ähnlich wie bei Gelenkträger verschwinden die unbestimmten Größen durch Einfügen von 3 Gelenken oder durch die Annahme von 3 Durchgangspunkten für die Stützlinie des Gewölbes. Zur Vereinfachung wird der Auflagepunkt als statisch bestimmtes System berechnet.

Wie bereits im ersten Teil nachgewiesen, erweist sich die Mauerlatten 8x8 cm als nicht ausreichend lastverteilend, sodass die Belastung des Fenstersturzes keine gleichmäßig verteilte Last darstellt. Eine Schicht aus Kalksandsteinen wirkt ebenso wenig lastverteilend. Folgende Skizze (Bild 5) zeigt die mögliche Lastverteilung  $b_v$  aus den Deckenbalken bis zur Systemlinie des Sturzes:

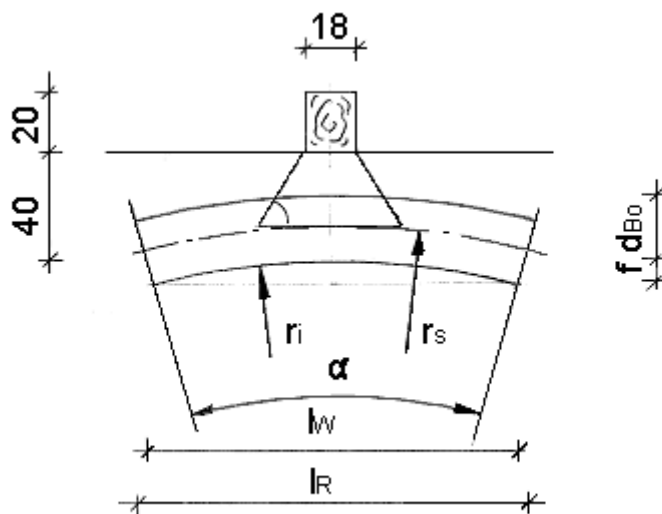


Bild 5: Lastverteilung unterhalb des Deckenbalkens

Lastverteilungslänge

$$b_v = 18,0 \text{ cm} + 2 \tan 30^\circ (40 \text{ cm} - 25 \text{ cm}/2) = 49,75 \text{ cm}$$

verteilte Belastung

$$q_1 = 7,5 \text{ kN} / 0,498 \text{ m} = 15,07 \text{ kN/m}$$

Als statisches System wird vereinfachend entsprechend [1] ein Dreigelenkbogen zugrunde gelegt (Bild 6).

Ermittlung der rechnerischen Bogenstützweite  $l_R$ :

$$f = 0,5l_w \tan(\alpha/4)$$

$$8,0 \text{ cm} = 0,5 * 125,0 \text{ cm} * \tan(\alpha/4)$$

$$\alpha = 29,18^\circ$$

$$l_w = 2r_i \sin(\alpha/2)$$

$$125,0 \text{ cm} = 2r_i \sin(29,18^\circ/2)$$

$$r_i = 248,14 \text{ cm}$$

$$r_s = r_i + d_{Bo}/2$$

$$r_s = 248,14 \text{ cm} + 25 \text{ cm}/2$$

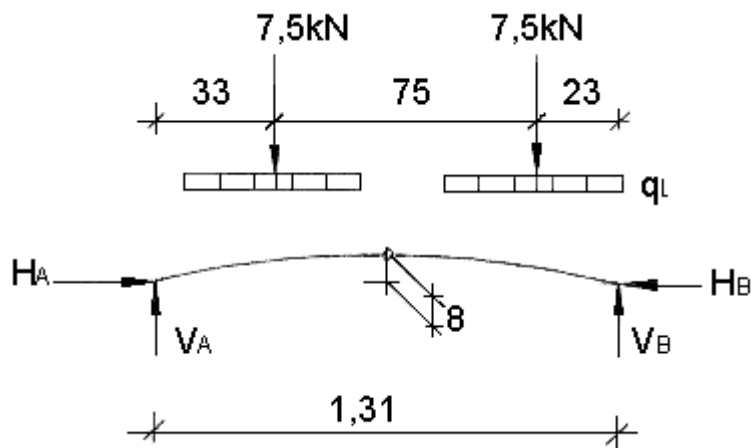
$$r_s = 260,64 \text{ cm}$$

$$l_R = 2r_s \sin(\alpha/2)$$

$$l_R = 2 * 260,64 \text{ cm} * \sin(29,18^\circ/2)$$

$$l_R = 131 \text{ cm}$$

Bild 6: Statisches System mit Belastung



### Auflagerreaktionen

Die Auflagerreaktionen können allein aus den Gleichgewichtsbedingungen berechnet werden [1]:

$$V_A * 1,31 \text{ m} = 7,5 \text{ kN} * (0,23 * 2 + 0,75) \text{ m}$$

$$V_A = 6,927 \text{ kN}$$

$$V_B * 1,31 \text{ m} = 7,5 \text{ kN} * (0,33 * 2 + 0,75) \text{ m}$$

$$V_B = 8,073 \text{ kN}$$

$$0 = V_A * l_R/2 - H_A * f - P_i a_i$$

$$0 = 6,927 \text{ kN} * 1,31 \text{ m}/2 - H_A * 0,08 \text{ m} - 7,5 \text{ kN} * (1,31/2 - 0,33) \text{ m}$$

$$H_A = 26,25 \text{ kN}$$

$$0 = V_B * l_R/2 - H_B * f - P_i a_i$$

$$0 = 8,073 \text{ kN} * 1,31 \text{ m}/2 - H_B * 0,08 \text{ m} - 7,5 \text{ kN} * (1,31/2 - 0,23) \text{ m}$$

$$H_B = 26,25 \text{ kN}$$

### Normalspannungsnachweis

Die Spannungsermittlung erfolgt unter der Annahme, dass sich die Stützlinie im mittleren Drittel des Querschnitts bewegt und damit Zugbeanspruchungen gerade noch ausgeschlossen werden können. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich als maximale Druckspannung bei konstanter Bogendicke:

$$\max \sigma_D = 2H/(d_{B0} * b)$$

Die Bogenbreite entspricht der Wanddicke von  $b = 36,5$  cm. Daraus errechnet sich:

$$\max \sigma_D = 2 * 26250 \text{ N} / (250 \text{ mm} * 365 \text{ mm}) = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

Diese Druckspannung kann ein Mauerwerk Mz 8/I noch aufnehmen. Dieser Nachweis berücksichtigt jedoch die Einzellasteintragung nicht, weshalb ein Durchstanznachweis zu führen ist.

### Durchstanznachweis

Da ein vollständiges Überdrücken des Querschnitts im vorausgehenden Rechengang vorausgesetzt worden ist (Stützlinienverfahren), entspricht die Druckzonenhöhe  $x_D$  der Querschnittshöhe  $d_{B0}$ . Die Durchstanzkraft  $P = 7,5$  kN wird dabei über 2 Scherflächen, die sich an den Rändern der Durchstanzfigur entsprechend Bild 5 ergeben, abgetragen.

Scherfläche  $A_S = x_D * b$  mit  $x_D = d_{B0}$

maximale Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\max \tau_D = 1,5P/(2A_S)$$

$$\max \tau_D = 1,5 * 7,5 \text{ kN} / (2 * 25 \text{ cm} * 36,5 \text{ cm}) = 0,0062 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_D = 0,062 \text{ N/mm}^2$$

zulässige Schubspannung DIN 1053, Teil 1

$$\text{zul } \tau = \sigma_{0HS} + 0,30 \sigma_{Dm} < \max \tau$$

$$\sigma_{0HS} = 0,01 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{MG I, Kalkmörtel})$$

$$\sigma_{Dm} = \max \sigma_D / 2 \quad (\text{dreieckförmige Spannungsverteilung})$$

$$\sigma_{Dm} = 0,58 \text{ N/mm}^2 / 2$$

$$\sigma_{Dm} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\max \tau = 0,014 \beta_{NSt} \quad (\text{Vollziegel})$$

$$\max \tau = 0,014 * 8 = 0,112 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul } \tau = 0,01 \text{ N/mm}^2 + 0,30 * 0,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul } \tau = 0,097 \text{ N/mm}^2 < \max \tau = 0,112 \text{ N/mm}^2$$

$$> \max \tau_D = 0,062 \text{ N/mm}^2$$

Rein rechnerisch wird die Tragfähigkeit des Fenstersturzes nicht überschritten. Das Einlegen eines zusätzlichen Stahlträgers, wie zum Anfang der Betrachtung genannt, ist im vorliegenden Fall nicht erforderlich. Empfehlenswert ist jedoch immer eine Einzelprüfung vorzunehmen. Liegt eine größere Minderung der Druckfestigkeit des alten Mörtels vor, so verursacht das Einlegen eines Stahlträgers während der Sanierung nur unerhebliche Mehrkosten gegenüber einer späteren kostenaufwendigen Nachsanierung. Eine Fensteröffnung mit Sturz ist der querschnittsschwächste Punkt der Mauerscheibe. Mögliche Rissursachen im oder unmittelbar neben dem Fenstersturz können beispielsweise durch fehlende Ringbalken, Temperatureinflüsse, Erschüttungen, nachträgliche

bauliche Maßnahmen oder durch massive Schädigung einzelner Deckenbalken und damit Veränderungen der Lastverteilung entstehen.

Leipzig, den 27.02.2008

Dipl.-Ing. Steffen Motzkau und Dipl.-Ing.oec., Ing. Peter Rauch

Quelle:

[1] Schreyer: *Praktische Baustatik, Teil 2*, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 1952