

Bedenkliche Sanierung einer Holzbalkendecke nach einem Leitungswasserschaden (Teil I)

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

Baupfusch erfolgt nicht nur beim Neubau oder in der Altbausanierung, sondern auch bei der Beseitigung von Bauschäden. Misslungene Sanierungsmaßnahmen gerade im verdeckten Bereich kommen eher durch Zufall an das Tageslicht. Ursache sind mangelnde Planung, fehlende Kontrolle durch unabhängige Fachleute, der Einsatz ungenügend qualifizierter Handwerker und das falsche Verständnis für Kosteneinsparung. Das nachfolgende Beispiel (Bild 1), die freigelegte Holzbalkendecke, wurde durch Zufall festgestellt. Sicherlich ist dieser Deckenabschnitt heute mit einer Gipskartonbauplatte verkleidet.



Bild 1: Während eines Umbaus wurde dieser Deckenteil geöffnet und diese angestückelten Deckenbalken wurden sichtbar.

Nachfolgende wird ein Sanierungsbeispiel vorgestellt und kommentiert. Beim Betreten der Wohnung wurde bereits die Sanierung der Holzbalkendecken nach einem Leitungswasserschaden begonnen. Ein ausgewählter Teil des vorgefundenen Zustandes wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert und die besonders gravierenden Fehler mit Überschlagsrechnungen aufgezeigt. In der Endkonsequenz wäre es mit großer Wahrscheinlichkeit bereits während der Sanierung zum Einsturz der Decken gekommen. Bei den Überschlagsrechnungen bleibt die neue DIN 1052 unberücksichtigt, wo ein Sicherheitskonzept umgesetzt wird, zum Beispiel die Sortierklassen S10 (10 N/mm²) wird durch Festigkeitsklassen C24 (24 N/mm²) ersetzt, wo entsprechende Minderung durch Faktoren, wie die Lasteinwirkungsdauer einfließen.

Der Schaden an der Holzbalkendecke wurde durch eine undichte Verbindung der im Fußboden verlegten Heizwasserleitung verursacht. Über mehrere Jahre konnte Wasser aus der Heizanlage unbemerkt in den Fußboden zwischen Dielung und Fermacellplatten sowie Bodenfliesen bzw. Spanverlegplatten und Bodenbelag gelangen. Erst nach dem mehrere Liter Wasser im Heizkreislauf nachgefüllt werden mussten, wurde der Sache nachgegangen. In diesem Zusammenhang wurde die defekte Heizleitung im Fußboden gefunden. Die Holzbalkendecke wurde durch eine Trocknungsfirma getrocknet. Bei der Öffnung des Fußbodens an der defekten Heizungsleitung wurde auch Myzel eines Holz zerstörenden Pilzes vorgefunden.

Mit der Freilegung der geschädigten Holzbalkendecke wurde eine kleine Firma beauftragt, die dann auch selbstständig mit der Sanierung der Deckenbalken begann. Es handelt sich hierbei um eine bewohnte Wohnung, die vom Mieter bald wieder genutzt werden sollte. Wegen der Verzögerung der Sanierungsmaßnahmen bat mich die Hausverwaltung um Unterstützung bei der Klärung einiger Sachverhalte. Beim Betreten der Wohnung wurden die in den Bildern

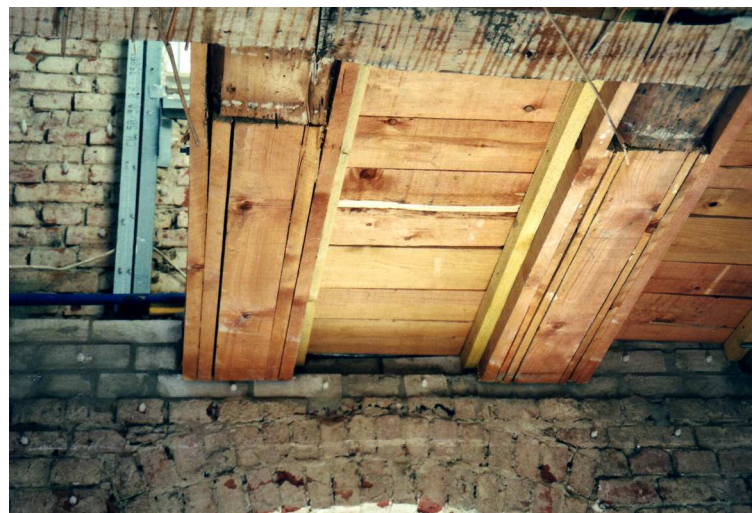
bereits abgeschlossenen Balkenkopfsanierungen vorgefunden. Die Deckenbalken haben eine Länge von 500 cm und einen Querschnitt 18 x 22 cm. Sie liegen in einem Abstand von 75 cm.



Die Deckenbalken wurden um 100 cm gekürzt und beidseitig Seitenhölzer von 3,5 x 22 cm und einer Länge von ca. 170 cm mit zwei 16 mm Gewindestangen im Abstand von 50 cm angebracht. Im Bild 2 wird die Ansicht von oben und im Bild 3 die Ansicht von unten gezeigt. Zum Zeitpunkt der Besichtigung wurden diese „sanierten“ Deckenbalken noch durch ein Joch abgestützt.

Bild 2: Ansicht der Deckenbalken mit den Seitenhölzern und dem Füllholz von oben

Bild 3: Ansicht der „sanierten“ Deckenbalken von unten. Der Balken wurde um 1 m gekürzt und seitlich zwei Laschen mit 3,5 x 22 cm angebracht



In der Skizze (Bild 4) ergeben sich für die Deckenbalken folgende Situationen. Dies gilt auch für den Streichbalken, wobei hier zusätzlich noch die auftretende Verdrehung nicht erkannt wurde.

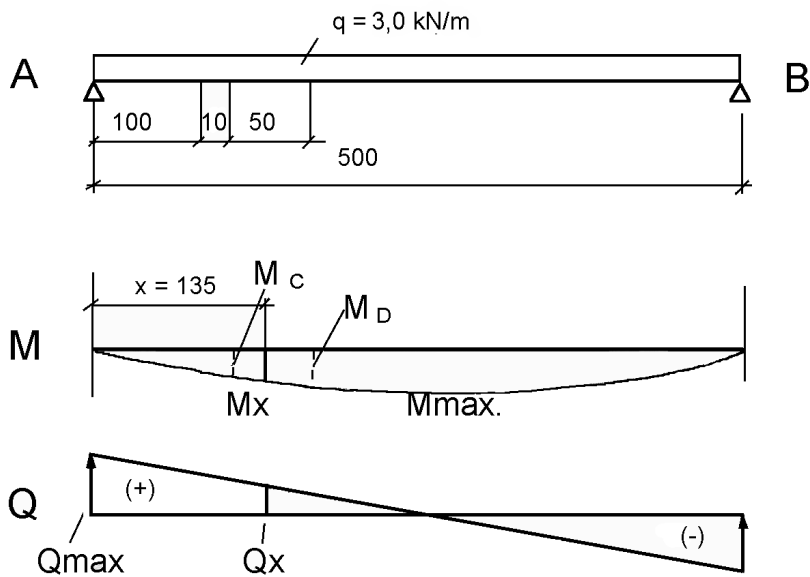
Bild 4: Maße des Deckenbalkens, das statische System und die Querkraftfläche
 A= Auflagekraft, M = Momentfläche, Q = Querkraftfläche

$$q = \text{Verkehrslast} + \text{Eigenmasse} \cdot 75/100 \text{ (ergibt sich aus Balkenabstand} = 75 \text{ cm)}$$

$$\sigma_D = \sigma_E = 8,5 \text{ N/mm}^2 \text{ für Altholz GK II mit Abminderungsfaktor}$$

$$\sigma_D = \sigma_E = 10,0 \text{ N/mm}^2 \text{ für Holz GK II ohne Abminderungsfaktor}$$

$$\tau_{zul.} = 0,9 \text{ N/mm}^2$$



Für das Auflager der Deckenbalken auf der Außenwand ergibt sich

$$A = B = Q_{\max} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{4 \text{ kN} \cdot 0,75}{\text{m}} \cdot \frac{5,00 \text{ m}}{2} = \underline{7,5 \text{ kN}}$$

Der Auflagedruck am Auflager A für die Seitenhölzer bei einer Auflagelänge von 12 cm ergibt sich

$$F = 2 \cdot 35 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} = 8400 \text{ mm}^2$$

$$A = 7,5 \text{ kN} / 8400 \text{ mm}^2 = \underline{0,89 \text{ N/mm}^2} < 2,0 \text{ N/mm}^2 \sigma_{D \perp \text{zul}}$$

Die gewählten Seitenhölzer sind in Bezug zur Übertragung der Kräfte auf das seitliche Auflager A zulässig.

Besonders problematisch ist die vorliegende Ausführung der Gewindebolzenverbindung. Die verwendeten Gewindestangen werden auf Abscherung, Lochleibungsdruck und Biegung beansprucht. Die Tragfähigkeit wird durch Größe und Dicke der Unterlegscheiben und Dübel sowie die Widerstandsfähigkeit des Holzes beeinflusst.

Das zu verbauende Holz wurde im Hof ungeschützt vor Niederschlag gelagert und wurde feucht eingebaut. Beim vorliegenden Hausschwammbefall stellt feucht verbautes Holz ein Problem dar, vergleiche DIN 68800 Teil 4 Pkt. 4. Das nächste Problem besteht darin, wenn anschließend das Holz trocknet (Schwindmaß), so lockern sich die Verbindungen an den Deckenbalken und können später nicht nachgezogen werden.

Rechnerisch ist die wirkliche Verteilung der Lochleibungsdrücke im Holz und damit auch die Größe der Biegemomente im Bolzen nur schwer erfassbar. Im Bild 5 (Schreier 1960 S. 18) unter a und b wird bei großer Krafteinwirkung die Verformung und den „Schlupf“ einer Verbindung mit einem Gewindebolzen gezeigt. C und d zeigt die ungefähre Verteilung dieser Spannungen und Biegemomente.

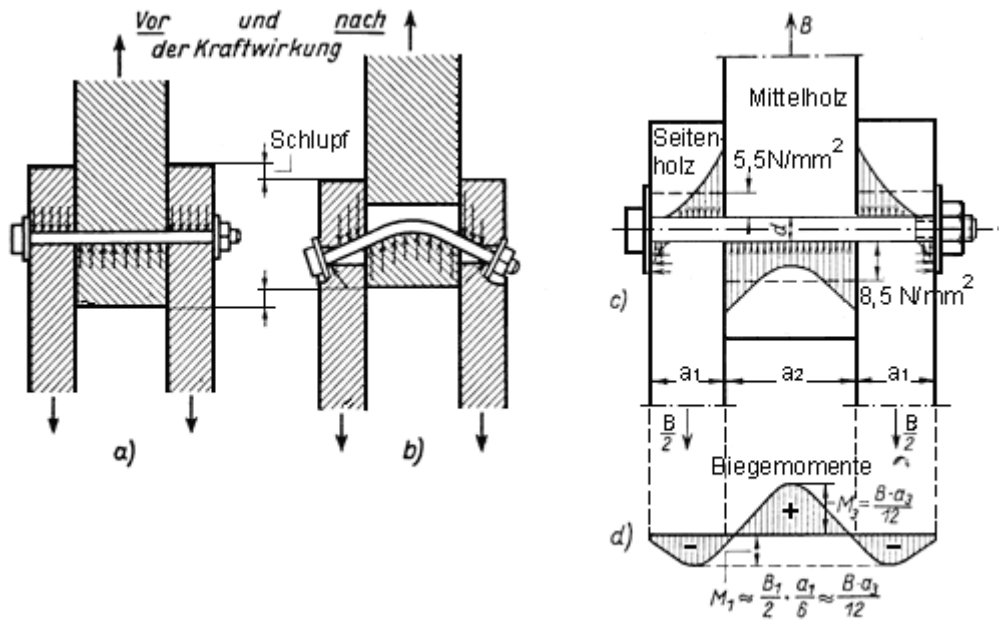


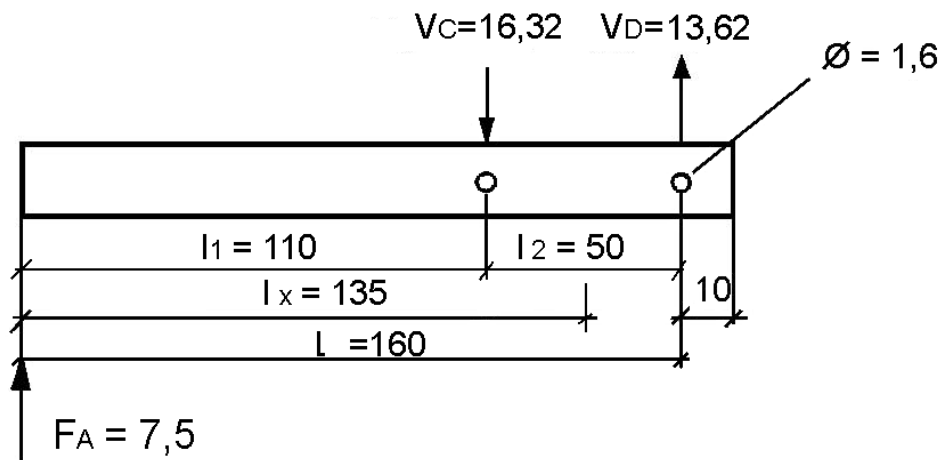
Bild 5: Schlufl, Verformung und Verteilung der Druckspannungen und Biegemomente einer Bolzenverbindung (Schreier 1960 S. 18)

Belastung der Seitenhölzer

Bild 6: Skizze Auflast und Stützkkräfte an den Seitenhölzern

$$q = 4 \text{ kN/m}^2 / 0,75 \text{ m} = 3,0 \text{ kN/m}$$

$$F_A = 7,5 \text{ kN}$$



Biegemoment am Träger (siehe Bild 6)

$$M_C = F_A \cdot l_1 - \frac{q \cdot l_1^2}{2} = 7,5 \text{ kN} \cdot 1,1 \text{ m} - \frac{3 \text{ kN} \cdot 1,1^2 \text{ m}^2}{2} = \underline{6,435 \text{ kNm}}$$

$$M_D = F_A \cdot (l_1 + l_2) - \frac{q \cdot (l_1 + l_2)^2}{2} = 7,5 \text{ kN} \cdot 1,6 \text{ m} - \frac{3 \text{ kN} \cdot 1,60^2 \text{ m}^2}{2} = \underline{8,16 \text{ kNm}}$$

$$M_x = F_A \cdot l_x - \frac{q \cdot l_x^2}{2} = 7,5 \text{ kN} \cdot 1,35 \text{ m} - \frac{3 \text{ kN} \cdot 1,35^2 \text{ m}^2}{2} = \underline{7,39 \text{ kNm}}$$

Querkraft am Seitenholz (siehe Bild 6)

$$V_C = \frac{[F_A \cdot (l_1+l_2) - (q \cdot (l_1+l_2)^2)/2]}{l_2} = \frac{[7,5 \text{ kN} \cdot 1,6 \text{ m} - (3 \text{ kN} \cdot 1,6^2 \text{ m}^2)/2]}{0,5 \text{ m}}$$
$$= \frac{8,16 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m}} = \underline{16,32 \text{ kN}}$$

$$V_D = \frac{[F_A \cdot l_1 - q \cdot (l_1+l_2) \cdot ((l_1+l_2)/2 - l_2)]}{l_2} \quad \text{oder nach}$$
$$V_D = \frac{F_A \cdot l_1 - q \cdot l_1 \cdot l_1/2 + q \cdot l_2 \cdot l_2/2}{l_2} = \frac{7,5 \text{ kN} \cdot 1,1 \text{ m} - 3 \text{ kN/m} \cdot 1,1^2 \text{ m}^2 + 3 \text{ kN/m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2}{0,5 \text{ m}}$$
$$= \frac{6,81 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m}} = \underline{13,62 \text{ kN}}$$

Der gefährdete Bereich bei dieser Laschenverbindung liegt bei C.

Scherspannung am Seitenholz

$$Q_C = A - q \cdot l_1 = 7,5 \text{ kN} - 3 \text{ kN/m} \cdot 1,1 \text{ m} = \underline{4,20 \text{ kN}}$$

$$\tau = \frac{Q_C}{F} = \frac{4,20 \text{ kN}}{2 \cdot 35 \text{ mm} \cdot (220 \text{ mm} - 16 \text{ mm})} = \underline{0,29 \text{ N/mm}^2} < 0,9 \text{ N/mm}^2 \tau_{zul.}$$

Der Querschnitt des Seitenholzes ist ausreichend.

Lochleibung der Seitenhölzer am Punkt C (siehe Bild 6)

Lochquerschnitt = 1,6 cm, Seitenholz 3,5/22 cm

Lochleibungsdruck siehe Bild 4, c), $\sigma_{L||} = 5,5 \text{ N/mm}^2$ B = 26,0 N/mm² DIN 1052 T. 2 Tab. 10,

$\sigma_{L\perp} = 2 \text{ N/mm}^2$ DIN 1052 T. 1 Tab. 5

$$F_c = 2 \cdot 35 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} = \underline{1120 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{L\perp} = \frac{V_C}{F_c} = \frac{16,32 \text{ kN}}{1120 \text{ mm}^2} = \underline{14,6 \text{ N/mm}^2} > 2,0 \text{ N/mm}^2 \sigma_{L\perp \text{ zul.}}$$

Nach dieser überschläglichen Berechnung ist der Lochquerschnitt nicht ausreichend und wird 7,3-fach überschritten. Diese $\sigma_{L\perp \text{ zul.}}$ wird zum Beispiel beim Auflegen eines Balkens verwendet. Daher erfolgt eine weitere Berechnung, wo die mittlere Lochleibungsspannung des Holzes und der Festwert berücksichtigt wird. Für die Bolzenverbindung ergibt sich danach eine 3,5-fache Spannungsüberschreitung. Dies ergibt sich aus

$$\eta_b = 1 - \alpha / 360 = 1 - 90 / 360 = 0,75 \text{ (Kraftangriff rechtwinklig zur Faserrichtung)}$$

$$\text{zul } N_b = \text{zul } \sigma_L \cdot a \cdot d_b \cdot \eta_b = 5,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 70 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 0,75 = \underline{4,62 \text{ kN}}$$

$$\text{zul } N_b = B \cdot d_b^2 \cdot \eta_b = 26,0 \text{ N/mm}^2 \cdot 16^2 \text{ mm}^2 \cdot 0,75 = \underline{4,99 \text{ kN}}$$

$$\frac{\text{max } V_c}{\text{zul } N_b} = \frac{16,32 \text{ kN}}{4,62 \text{ kN}} = \underline{3,53}$$

Lochleibung des verbliebenen Deckenbalkens (Mittelholz) am Punkt C (siehe Bild 6)

Lochquerschnitt = 1,6 cm, Dicke des Deckenbalkens 18 cm

Lochleibungsdruck siehe Bild 4, c), $\sigma_{L\parallel} = 8,5 \text{ N/mm}^2$, $B = 38,0 \text{ N/mm}^2$ DIN 1052 T. 2 Tab. 10, $\sigma_{L\perp} = 2,0 \text{ N/mm}^2$ DIN 1052 T. 1 Tab. 5

$$F = 180 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} = \underline{2880 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_L = \frac{V_C}{F_C} = \frac{16,32 \text{ kN}}{2880 \text{ mm}^2} = \underline{5,67 \text{ N/mm}^2} > 2,0 \text{ N/mm}^2 \sigma_{L\perp} \text{ zul.}$$

Der Lochquerschnitt am verbliebenen Deckenbalken ist nicht ausreichend und wird 2,8-fach überschritten. Wie bei der Seitenholzverbindung genannt, erfolgt eine weitere Berechnung. Auch hier erfolgt bei der Bolzenverbindung eine 2,2-fache Spannungsüberschreitung. Dies ergibt sich aus

$$\eta_b = 1 - \alpha / 360 = 1 - 90 / 360 = 0,75 \text{ (Kraftangriff rechtwinklig zur Faserrichtung)}$$

$$\text{zul } N_b = \text{zul } \sigma_L \cdot a \cdot d_b \cdot \eta_b = 8,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 180 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 0,75 = \underline{18,36 \text{ kN}}$$

$$\text{zul } N_b = B \cdot d_b^2 \cdot \eta_b = 38,0 \cdot 16^2 \text{ mm}^2 \cdot 0,75 = \underline{7,3 \text{ kN}}$$

$$\frac{\text{max } V_c}{\text{zul } N_b} = \frac{16,32 \text{ kN}}{7,3 \text{ kN}} = \underline{2,23}$$

Biegespannung der Seitenhölzer am Punkt C (siehe Bild 6)

b = 2 x 3,5 cm Seitenholzdicke

h = 22 cm Seitenholzhöhe

$$I_{x\text{vorh.}} = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{b \cdot 1,6^3}{12} = \frac{7,0 \cdot 22^3}{12} - \frac{7,0 \cdot 1,6^3}{12} = \underline{6213 \text{ cm}^4}$$

$$W_x = \frac{I_x}{e} = \frac{6213 \text{ cm}^4}{11 \text{ cm}} = 565 \text{ cm}^3 = \underline{565 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}$$

$$M_c = A \cdot l_c - \frac{q \cdot l_c^2}{2} = 7,50 \text{ kN} \cdot 1100 \text{ mm} - \frac{3 \text{ N} \cdot 1100^2 \text{ mm}^2}{2} = \underline{6435000 \text{ Nmm}^2}$$

$$\sigma_C = \frac{M_C}{W_x} = \frac{6435000 \text{ Nmm}^2}{565000 \text{ mm}^3} = \pm 11,39 \text{ N/mm}^2 > 10,0 \text{ N/mm}^2 \sigma_{Czul.}$$

Die Biegespannung σ_C im Punkt "C" der Seitenhölzer ist unzureichend und ist überschritten.

Die Sanierung dieser Deckenbalken ist aufgrund der erheblichen Spannungsüberschreitung bei der Bolzenverbindung mangelhaft und damit unzulässig.

Die Herstellung einer ordnungsgemäßen Konstruktion mit ausreichender Tragfähigkeit ist nur mit dickeren Seitenhölzern und größeren Bolzenabständen möglich. Das kann zum Beispiel mit Seitenhölzern mit den Abmaßen 6/22 cm und Abstände der Lastpunkte $l_2 = l/5 \geq 100 \text{ cm}$ sowie die Verwendung entsprechender zweiseitiger Einpressdübel mit $\varnothing 75 \text{ Typ C}$ erreicht werden.

Der Streichbalken wurde ebenso wie die anderen Deckenbalken um ca. 100 cm gekürzt und seitlich eine 3,5 x 22 cm Holzlasche angebracht (siehe Bild 7). Neben der fehlenden ausreichenden Tragfähigkeit wurde die Verdrehung durch das einseitig angebrachte Seitenholz (Lasche) vollständig außer Acht gelassen.

Eine ordnungsgemäße Sanierung lässt sich am besten durch den kompletten Austausch des Deckenbalkens ausführen.

Hat der neben liegende Deckenbalken noch seine volle Tragfähigkeit, so kann aber auch ein Wechsel eingezogen werden, woran der verbleibende Deckenbalken mithilfe eines Balkenschuhs angehängt wird. Die Erstellung einer ausreichenden Auflagefläche für den Wechsel aus Holz, zum Beispiel bei einer Brandwand, ist nicht in jedem Fall möglich bzw. muss gesondert geprüft werden. Alternativ gibt es aber auch andere Konstruktionen, zum Beispiel aus Stahl, Konsolen oder Unterzüge, die den verbleibenden Restbalken tragen.



Bild 7: der Streichbalken (18 x 22 cm) wird lediglich durch das 3,5 x 22 cm Seitenholz getragen.

Für die ordnungsgemäße Balkensanierung musste noch ein Teil der bisher nicht geöffneten Dielung aufgenommen werden. Dabei wurden weitere Holzschäden in der Mitte der Deckenbalken festgestellt. Die gegenüberliegenden Deckenbalkenköpfe zeigten ebenfalls Schäden. In diesem Fall wurde ein kompletter Austausch der Deckenbalken vorgeschlagen. Zur Erleichterung der Montage sollten hier Hölzer mit 6 x 22 cm und 5 m Länge zum Einsatz kommen. Wobei jeweils immer 2 Stück (mit entsprechend kleinerem Abstand zwischen den Balken) bzw. 3 Stück bei gleichem Abstand miteinander vernagelt oder verbolzt werden sollten.

Für die Montage haben in diesem Fall die Bohlen gegenüber den Deckenbalken den Vorteil, dass sie sich ohne Hilfsmittel auf der Hofseite in die I. Etage transportieren lassen. Bei einem Hausschwammbefall sind kesseldruckimprägnierte Hölzer einzusetzen. Balken mit dem erforderlichen Querschnitt bedürfen einer längeren Trocknungszeit.

Wichtig ist aber auch die Beachtung der Holzfeuchtigkeit. Ist diese zu hoch, so schwindet das Holz beim Trocknen und es kommt nachträglich zur Setzung, was zwangsläufig zum Aufreißen der Fliesenfugen im Bad und in der Küche an den Wandanschlüssen führt.

Aber auch das Ausklinken auf der Unterseite der Seitenhölzer, wie es hier vorgenommen wurde, kann zum Aufspalten führen und sollte daher unterbleiben.

Die Dielen haben die Aufgabe die Verkehrslast auf die Deckenbalken zu übertragen und eine aussteifende Funktion. Werden die Dielenbretter nicht versetzt verlegt, sondern wie im Bild 2 auf Stoß gesetzt, so werden diese Funktionen eingeschränkt.

Ebenso stellt das Ablegen der Deckenbalken über gemauerte Fenstersturze, erkennbar in den Bildern 2 und 3, ein weiteres Problem dar. Darauf soll in einem weiteren Beitrag eingegangen werden.

Ergänzende Beurteilung zur Tragfähigkeit der Deckenbalken

In diesem Beitrag wird die mangelhafte Sanierung der vorhandenen Deckenbalken beurteilt. Da hier aber auch ein möglicher Sanierorschlag erwähnt wird, sind ergänzend noch einige Bemerkungen zur Tragfähigkeit der Holzbalken erforderlich.

Für die Beurteilung der Tragfähigkeit der Holzbalken ist maßgebend bei

$l < 16 \cdot h$ die Biegespannung und

$l > 16 \cdot h$ die Durchbiegung.

Die zulässige Durchbiegung der oben betrachteten Deckenbalken mit einer Länge von 500 cm und einer Höhe von 22 cm ergibt sich nach DIN 1052 T. 1 Tab. 9

$$f = \frac{l}{300} = \frac{5000 \text{ mm}}{300} = \underline{16,6 \text{ mm}}$$

Die überschlägliche Berechnung der Durchbiegung der ganzen Deckenbalken 18/22 cm erfolgt nach der Formel

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{180 \cdot 220^3}{12} = 1,5972 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\text{vor } f = \frac{q \cdot l^4}{77 \cdot E \cdot I_x} = \frac{3,0 \text{ N/mm} \cdot 5000^4 \text{ mm}^4}{77 \cdot 10000 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,5972 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 15,2 \text{ mm} < 16,6 \text{ mm } f \text{ zul.}$$

Die Durchbiegung der verbliebenen Deckenbalken wird nicht überschritten.

Auf die Problematik zum Hausschwamm und den entsprechenden Sanierungsanforderungen nach DIN 68800 Teil 4 Punkt 4 wird hier nicht weiter eingegangen.

Leipzig, den 17.02.2008

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

Quellen:

Mönck, Willi; Schäden an Holzkonstruktionen 2. Aufl., Verlag für das Bauwesen 1995

Enke, Peter; Schreyer, 2. Aufl., Baustatik Teil 2 Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1960

DIN 1052, Teil 1 und Teil 2, Holzbauwerke Berechnung und Ausführung