

03
2018

Konstruktiver Ingenieurbau

Grundbau

Erfahrungen mit Schäden durch Ettringit-/Thaumasitreiben im Straßenbau

Stahlbetonbau

Revitalisierung eines denkmalgeschützten Postgebäudes

Holzbau

Skulptur rund ums Brot

Aussteifung von Gebäuden in Holztafelbauart

Stahlbau

Bestimmung der Materialkennwerte sowie der Belastung von historischen Graugussstützen im Bestand

Bauphysik

Schallschutz im Hochbau

Baurecht

Bestandsschutz im Brandschutz



© roman023 – istockphoto.com

François Colling

Aussteifung von Gebäuden in Holztafelbauart

Der Nachweis der Gebäudeaussteifung ist notwendiger und wesentlicher Bestandteil jeder statischen Berechnung. Bei Holzhäusern in Holztafelbauart (früher: Holzrahmenbauart) sind die zugehörigen Nachweise für viele Tragwerksplaner leider nicht „trivial“, und daher ungeliebt, sodass bei kleinen Einfamilienhäusern der Nachweis der Gebäudeaussteifung gerne als „vernachlässigbar“ angesehen wird.

Um aufzuzeigen, dass die Gebäudeaussteifung im Holzbau kein „Hexenwerk“ darstellt, werden nachfolgend die wichtigsten Grundsätze für den Nachweis der Gebäudeaussteifung im Holztafelbau dargestellt. Für tiefere Erläuterungen wird auf [1] verwiesen.

Im Zusammenhang mit der Gebäudeaussteifung spricht der Ingenieur üblicherweise von Wand- und Deckenscheiben. Der Begriff „Scheibe“ ist für Wände und Decken im Massivbau durchaus zutreffend, im Holztafelbau allerdings nicht. Hier bestehen Wände und Decken aus mehreren Komponenten (Bild 1):

- den Rippen bzw. dem Rahmen,
- der Beplankung und
- den Verbindungsmitteln.

Wand- und Deckentafeln bestehen daher aus einem System von mehreren Komponenten, so dass das Tragverhalten dieser Tafeln nicht dem einer homogenen Scheibe entspricht. Der korrekte Begriff wäre daher „scheibenartig beanspruchte Tafeln“, der sich in der

Praxis allerdings kaum durchsetzen dürfte. Daher wird nachfolgend vereinfacht von Wand- und Deckentafeln gesprochen.

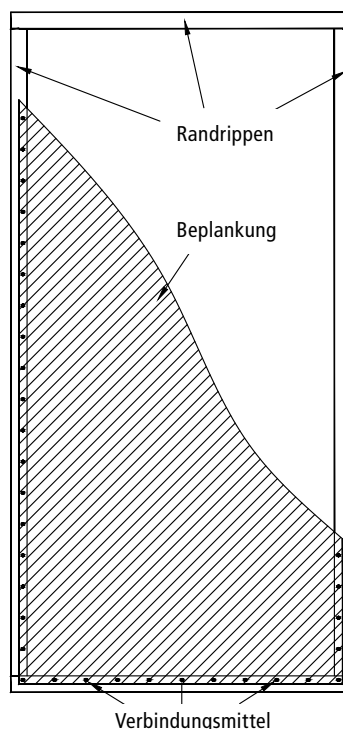


Bild 1: Komponenten einer Holztafel

Grundlagen

Voraussetzungen

Die Bemessung von Holztafeln zur Aussteifung von Gebäuden wird im EC 5-1-1, Abschnitt 9.2.3 (Dach- und Deckenscheiben) und im Abschnitt 9.2.4 (Wandscheiben) geregelt.

Grundlage der Bemessung ist die bereits in DIN 1052-2004 enthaltene Schubfeldtheorie, deren Anwendung an folgende Voraussetzungen geknüpft ist:

- Kontinuierlicher Verbund zwischen Rippen und Beplankung über mechanische Verbindungsmittel.
- Kontinuierliche Lasteinleitung (keine punktuelle Einleitung großer Kräfte).
- Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Beanspruchung des Verbundes wird eine Plastifizierung der Verbindungsmittel vorausgesetzt. Dies bedeutet, dass die Regelungen des EC 5 nur für Tafeln gelten, bei denen die Beplankung über mechanische Verbindungsmittel mit den Rippen befestigt sind.
- Es wird vorausgesetzt, dass Rippen und Beplankung so steif/fest sind, dass sie für die Bemessung nicht maßgebend werden. D.h. es wird angenommen, dass die Tragfähigkeit der Verbindungsmittel bemessungsmaßgebend ist.
- Jede Tafel besitzt umlaufende, zug- und druckfeste Randgurte (Randrippen). Diese Forderung gilt ausdrücklich auch für Teilscheiben, wie sie bei Deckentafeln üblicherweise angebracht werden (siehe hierzu auch Ausführungen im Abschnitt „Öffnungen“).

Schubflüsse

Bei idealen Tafeln treten im Verbund zwischen Rippen und Beplankung nur Schubflüsse parallel zu den Rippen auf: s_{v0} (siehe Bild 2 links). Bei Tafeln mit freien Plattenrändern treten auch Beanspruchungen rechtwinklig zu den Rippen auf: s_{v90} (siehe Bild 2 rechts).

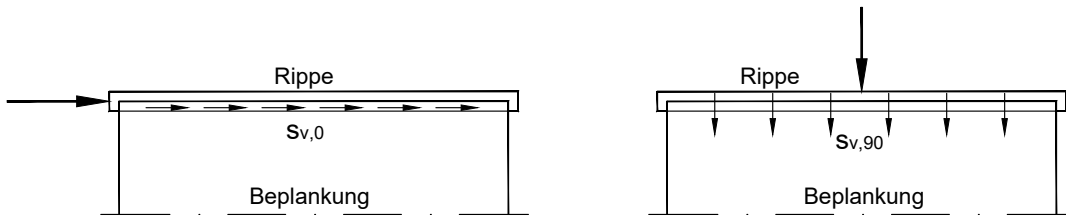


Bild 2: Schubflüsse $s_{v,0}$ und $s_{v,90}$

Materialien

Als Verbindungsmittel kommen meist Klammern zum Einsatz.

Als Beplankungsmaterialien werden vornehmlich OSB- und Dreischichtplatten verwendet. Spanplatten und Furnierplatten werden nur noch selten eingesetzt.

Bei Verwendung dieser Materialien ist sicherzustellen, dass die Verbindungsmittel bemessungsmaßgebend werden. In Tabelle 1 ist die Schubflustragfähigkeit $f_{v,Rd}^{VM}$ beispielhaft für einige Ausführungen angegeben (Klammern und OSB).

Wandtafeln

Grundlagen

Im EC 5 [1] sind nur rechteckige Wandtafeln geregelt, die keine Plattenstöße enthalten dürfen. Nach Nationalem Anhang zum EC 5 [3] ist ein horizontaler Plattenstoß zulässig, wobei dieser hinterlegt/unterstützt und schubfest verbunden sein muss (Bild 3).

Freie Plattenränder, d.h. nicht unterstützte bzw. nicht schubfest verbundene Plattenstöße, sind bei Wandtafeln nicht zulässig!

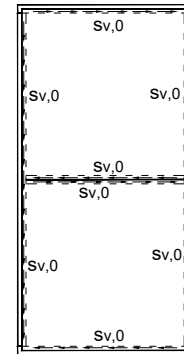


Bild 3: Wandtafel mit unterstütztem Plattenstoß

Tabelle 1: Bemessungswerte der Schubflustragfähigkeit $f_{v,Rd}^{VM}$ nach EC 5 für Klammern in Abhängigkeit vom Abstand a_1 der Verbindungsmittel (gültig für die NKL 1 und KLED = kurz/sehr kurz)

	t [mm]	d [mm]	l_{min} [mm]	$f_{v,Rd}^{VM}$ in [N/mm] bzw. [kN/m] für Klammern bei einem Abstand von										
				a_1 in [mm]										
				50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
OSB	12	1,5	30	8,29	6,91	5,92	5,18	4,60	4,14	3,76	3,45	3,18	2,96	2,76
		1,8	35	11,49	9,58	8,21	7,18	6,38	5,74	5,22	4,79	4,42	4,10	3,83
		2,0	35	13,66	11,38	9,76	8,54	7,59	6,83	6,21	5,69	5,25	4,88	4,55
	15	1,5	35	8,32	6,93	5,94	5,20	4,62	4,16	3,78	3,46	3,20	2,97	2,77
		1,8	35	11,53	9,61	8,23	7,20	6,40	5,76	5,24	4,80	4,43	4,11	3,84
		2,0	40	13,92	11,60	9,94	8,70	7,73	6,96	6,33	5,80	5,35	4,97	4,64
	18	1,5	40	8,34	6,95	5,95	5,21	4,63	4,17	3,79	3,47	3,20	2,97	2,78
		1,8	40	11,56	9,63	8,26	7,22	6,42	5,78	5,25	4,81	4,44	4,13	3,85
		2,0	40	13,96	11,63	9,97	8,72	7,75	6,98	6,34	5,81	5,37	4,98	4,65
	22	1,5	45	8,36	6,97	5,97	5,22	4,64	4,18	3,80	3,48	3,21	2,98	2,78
		1,8	45	11,60	9,66	8,28	7,25	6,44	5,80	5,27	4,83	4,46	4,14	3,86
		2,0	45	14,00	11,67	10,00	8,75	7,78	7,00	6,36	5,83	5,38	5,00	4,66

Für die NKL 2 sind die Werte für OSB-Platten mit dem Faktor 0,894 zu multiplizieren.

Bei Deckentafeln mit freien Stößen sind die Werte für $f_{v,Rd}^{VM}$ mit dem Beiwert $k_{v1} = 0,66$ abzumindern.

Gruppen von Wandtafeln sind mit einer durchlaufenden Kopfriple miteinander zu verbinden, damit alle Wandtafeln aktiviert werden können (Bild 4).

Für die Verankerung von Wandtafeln gilt der Grundsatz: Die Stiele (Randrippen) müssen verankert werden (siehe auch Bild 4).

Beanspruchungen

In [1] werden verschiedene Verfahren zur Berechnung der horizontalen Wandkräfte vorgestellt. Nachfolgend wird nur auf das Verfahren nach EC 5 eingegangen.

Nach dem EC 5 (und früher auch schon nach DIN 1052) darf die Ermittlung der Wandkräfte unter der Annahme erfolgen, dass die Deckentafel aus lauter Einfeldträgern (einfach gestützte Träger) besteht. Die Möglichkeit einer Durchlaufwirkung der Deckentafel wird nicht angesetzt. Dies erscheint auf den ersten Blick als stark vereinfachende Annahme, erweist sich aber auf den zweiten Blick als durchaus zutreffend.

Deckentafeln weisen üblicherweise eine hohe statische Höhe von mehreren Metern auf. Die Durchbiegung einer Deckentafel wird dabei vorrangig durch die einwirkenden Querkräfte und die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel verursacht, während Verformungen infolge der auftretenden Biegemomente verschwindend gering sind. Damit verhält sich eine Deckentafel wie ein schubweicher Balken, bei dem die Durchlaufwirkung gegen null tendiert. In Bild 5 ist dies am Beispiel eines Zweifeldträgers dargestellt.

Damit ist die Annahme, dass sich Deckentafeln wie Einfeldträger verhalten, mechanisch gesehen zutreffend und ermöglicht eine sehr einfache und damit auch sehr praxisnahe Bestimmung der horizontalen Wandkräfte. Diese Annahme bewirkt zwar eine höhere Belastung von Innenwänden, diese können aber auch einfacher „ertüchtigt“ werden, z.B. durch eine doppelte Beplankung.

Die Beanspruchung des Verbundes in der Wandtafel kann wie folgt berechnet werden:

$$s_{v,0,d,i} = \frac{F_{v,d,i}}{\ell_i} \quad \text{Gl. (1)}$$

mit

$s_{v,0,d,i}$ = Bemessungswert des Schubflusses in der Wandtafel

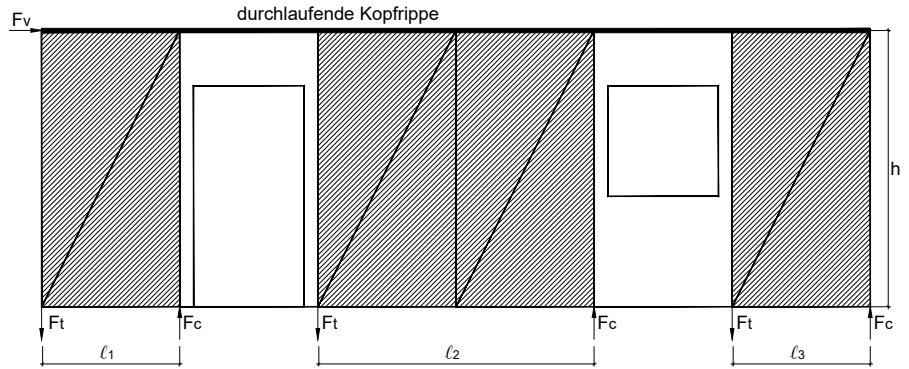


Bild 4: Gruppen von Wandtafeln mit durchlaufender Kopfriple und Verankerung der Wandtafeln

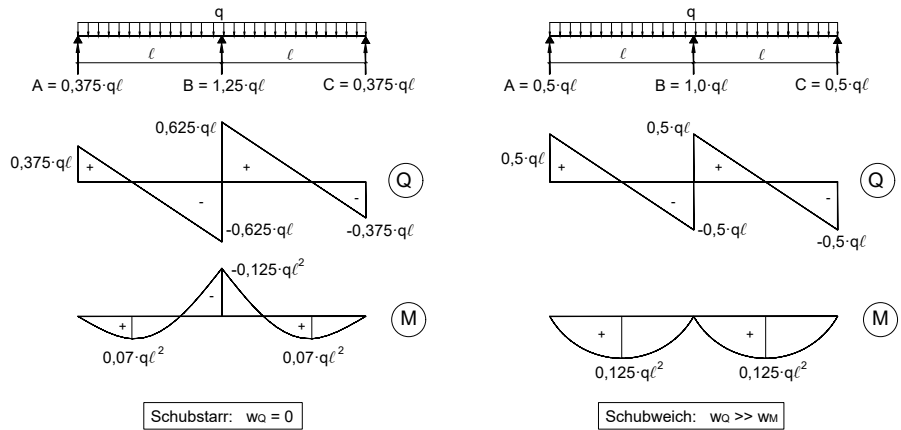


Bild 5: Auflagerkräfte und Schnittgrößen von Zweifeldträgern
links: schubstarrer Träger (wie in Stabwerksprogrammen üblicherweise angenommen) rechts: schubweicher Träger (wie Deckentafel)

$F_{v,d,i}$ = Bemessungswert der horizontalen Wandkraft (Auflagerkraft aus Deckentafeln)
 ℓ_i = Länge der Wandtafel

$s_{v,0,d,i}$ = Bemessungswert des Schubflusses in der Wandtafel nach Gl. (1)
 $f_{v,Rd}^{VM}$ = Bemessungswert der Schubflusst Tragfähigkeit (z.B. nach Tabelle 1)

Neben den einwirkenden horizontalen Lasten (Wind) müssen Wandtafeln auch noch Abtriebskräfte aufnehmen, die aus ungewollten Schiefstellungen von Querwänden auftreten. Diese Abtriebskräfte können durchaus in der Größenordnung von bis zu 20 % der Kräfte aus Wind liegen!

Bemessung

Bei den üblicherweise verwendeten Klammern und OSB-Platten werden immer die Verbindungsmittel bemessungsmaßgebend. Dann ist folgender Nachweis zu führen:

$$s_{v,0,d,i} \leq f_{v,Rd}^{VM} \quad \text{Gl. (2)}$$

mit

Deckentafeln

Grundlagen

Bei Deckentafeln sind die in Bild 6 dargestellten Typen zu unterscheiden.

- **Typ 1:** Deckentafeln mit Lasteinleitung quer zu den Deckenbalken: Bei diesem Tafeltyp tritt an der Randrippe, an der die Windlast eingeleitet wird, eine zusätzliche Beanspruchung $s_{v,90}$ auf.
- **Typ 2:** Deckentafeln mit Lasteinleitung parallel zu den Deckenbalken: Bei diesem Tafeltyp wird die Windlast – ähnlich wie bei Fachwerkträgern über die Knoten – über die stehenden

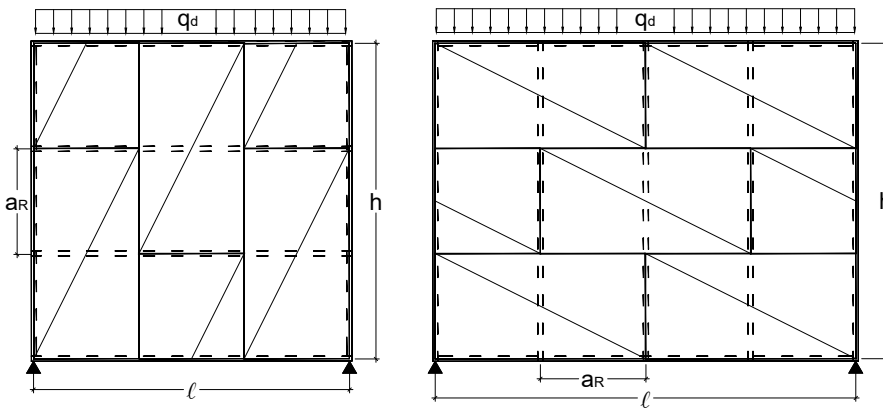


Bild 6: Deckentafeln
links: Typ 1 mit Lasteinleitung rechtwinklig zu den Deckenbalken

rechts: Typ 2 mit Lasteinleitung parallel zu den Deckenbalken

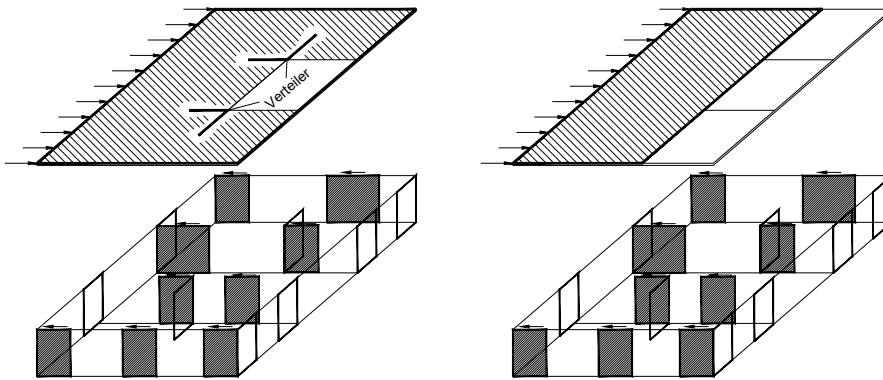


Bild 7: Deckentafeln mit Öffnung
links: Deckentafel „als Ganzes“ mit Einleitung der Randkräfte über Verteiler

rechts: aussteifende Deckentafel als „Teilscheibe“ mit umlaufenden Gurten

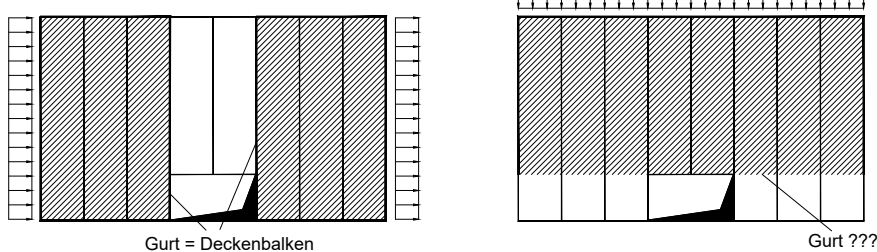


Bild 8: Randgurte bei „Teilscheiben“
links: Beanspruchung rechtwinklig zu den Deckenbalken (Typ 1)

rechts: Beanspruchung parallel zu den Deckenbalken (Typ 2)

Rippen in die Deckentafel eingeleitet. Daher entsteht bei diesem Tafeltyp keine zusätzliche Beanspruchung $s_{v,90}$ infolge Lasteinleitung.

Bei Deckentafeln sind freie Plattenränder, d.h. nicht unterstützte Plattenstöße, nicht mehr vermeidbar. Diese Plattenstöße bewirken z.T. erhebliche Zusatzbeanspruchungen $s_{v,90}$ im Verbund zwischen Rippen (Deckenbalken) und Beplankung, was die Tragfähigkeit der Tafeln herabsetzt. Im Nationalen Anhang [3] wird dies über eine pauschale Abminderung der Schubflusstragfähigkeit mit dem Faktor k_{v1} berücksichtigt (siehe auch Fußnote in Tabelle 1).

Öffnungen

Größere Öffnungen, z.B. infolge von Treppenhäusern, sind bei Deckentafeln kaum zu vermeiden. Die durch diese Öffnungen verursachten „Störkräfte“ sind bei der Bemessung von Deckentafeln zu berücksichtigen. Dies kann prinzipiell wie folgt erfolgen (Bild 7):

- Betrachtung der Deckentafel „als Ganzes“, d.h. als starrer Körper und Einleitung der Randkräfte – analog zum Massivbau – über Verteiler (Rippen) in die Tafel. Diese Betrachtung wird z.B. in [4] angewandt.
- Ausbildung von „Teilscheiben“, wobei darauf zu achten ist, dass jede „Teilscheibe“ mit umlaufenden Gurten/Randrippen auszubilden ist (s. Grundlagen-Voraussetzungen).

Bei einer Beanspruchung der Deckentafel rechtwinklig zu den Deckenbalken (Typ 1) kann die Forderung nach umlaufenden Randrippen über Stirnhölzer und die Deckenbalken leicht erfüllt werden (Bild 8 links).

Bei einer Beanspruchung parallel zu den Deckenbalken (Typ 2) ist ein durchlaufender Gurt rechtwinklig zu den Deckenbalken erforderlich (Bild 8 rechts). In Anbetracht der Tatsache, dass die Gurtkräfte i.d.R. so gering sind, dass nur sehr geringe Gurtquerschnitte erforderlich sind, könnte der geforderte Randgurt vergleichsweise einfach über eine im Fußbodenaufbau untergebrachte Latte sichergestellt werden (Bild 9).

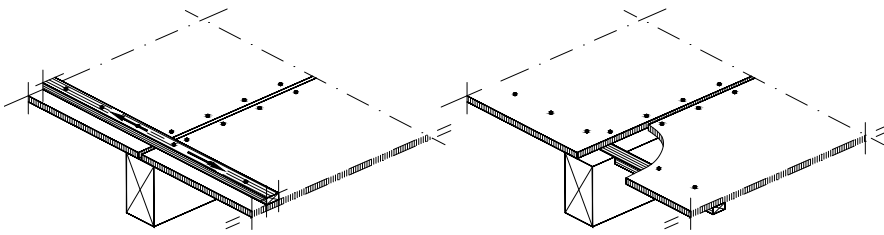


Bild 9: Latta als Randgurt
links: mit aufliegender Latta

rechts: mit versenkter Latta

Beanspruchungen

Eine Deckentafel erfährt folgende Beanspruchungen:

- Beanspruchung des Verbundes infolge Tafel-Querkraft und evtl. infolge Lasteinleitung (bei Typ 1): Dieser Beanspruchung muss von den Verbindungsmitteln im Verbund aufgenommen werden.
- Beanspruchung infolge Tafel-Moment: Die Momentenbeanspruchung muss über die Randgurte (→ Zug- und Druckkräfte) aufgenommen werden.

Die Berechnung der Tafel-Querkraft V_d und des Tafel-Momentes M_d erfolgt sehr einfach unter Annahme von Einfeldträgern (siehe auch Abschnitt Wandtafeln – Beanspruchungen).

Die Schubflussbeanspruchung im Verbund kann wie folgt berechnet werden:

Typ 1:

$$s_{v,res,d} = \sqrt{(s_{v,0,d})^2 + (s_{v,90,d})^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_d}{h}\right)^2 + (q_d)^2} \quad \text{Gl. (3a)}$$

Typ 2:

$$s_{v,0,d} = \frac{V_d}{h} \quad \text{Gl. (3b)}$$

mit

$s_{v,res,d}$ = Bemessungswert des resultierenden Schubflusses infolge Tafel-Querkraft und Lasteinleitung in der Randrippe (nur bei Typ 1)

$s_{v,0,d}$ = Bemessungswert des Schubflusses infolge Tafel-Querkraft

$s_{v,90,d}$ = Bemessungswert des Schubflusses infolge Lasteinleitung (nur bei Typ 1)
 $= q_d$
 V_d = Bemessungswert der Tafel-Querkraft
 h = Höhe der Deckentafel

Anmerkung:

Nach EC 5 ist bei Deckentafeln des Typs 1 der Schubfluss unter Verwendung einer wirksamen Tafelhöhe h_{ef} zu berechnen. Mit dieser wirksamen Höhe wird der Einfluss der Lasteinleitung indirekt berücksichtigt. Die Bestimmung dieser wirksamen Höhe h_{ef} ist aber nicht trivial und etwas irreführend. Daher wird hier die direkte Berücksichtigung der Lasteinleitung über die Berechnung des resultierenden Schubflusses $s_{v,res,d}$ empfohlen.

Die Normalkräfte in den Randgurten können wie folgt berechnet werden:

$$N_d = \frac{M_d}{h} \quad \text{Gl. (4)}$$

mit

N_d = Bemessungswert der Zug-/Druckkraft in den Randgurten

M_d = Bemessungswert des Tafel-Momentes

h = Höhe der Deckentafel

Bemessung

Bei den üblicherweise verwendeten Klammern und OSB-Platten werden immer die Verbindungsmittel bemessungsmaßgebend. Dann ist folgender Nachweis zu führen:

Typ 1:

$$s_{v,res,d} \leq k_{v1} \cdot f_{v,Rd}^{VM} \quad \text{Gl. (5a)}$$

Typ 2:

$$s_{v,0,d} \leq k_{v1} \cdot f_{v,Rd}^{VM} \quad \text{Gl. (5b)}$$

mit

$s_{v,res,d}$ = Bemessungswert des resultierenden Schubflusses infolge Tafel-Querkraft und Lasteinleitung in der Randrippe nach Gl. (3a)

$s_{v,0,d}$ = Bemessungswert des Schubflusses infolge Tafel-Querkraft nach Gl. (3b)

k_{v1} = Faktor zur Berücksichtigung von freien Plattenrändern bei Deckentafeln
 = 0,66 für Tafeln mit nicht allseitig schubsteif verbundenen Plattenrändern, d.h. Platten mit freien Rändern

$f_{v,Rd}^{VM}$ = Bemessungswert der Schubflusstaugfähigkeit (z.B. nach Tabelle 1)

Literatur

- [1] Colling, François 2018: Aussteifung von Gebäuden in Holztafelbauart. 2. Auflage. Ingenieurbüro Holzbau, Karlsruhe (www.ib-holzbau.de).
- [2] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5
- [4] HoB.Ex: Bemessungssoftware für den Holzbau auf EXCEL-Basis. www.hobex.net



Prof. Dr.-Ing. François Colling

Hochschule Augsburg