

Aussteifende Decken in Holztafelbauart – Empfehlungen für zukünftige Regelungen

Mike Sieder, François Colling, Martin H. Kessel, Peer Janßen

Zusammenfassung

Aussteifende Decken in Holztafelbauart werden nach dem heute gültigen Eurocode 5 bzw. der letzten DIN 1052:2008 bemessen und nachgewiesen. Die Grundlage der dort angegebenen Regeln ist das Schubfeldträgermodell, das seinen Ursprung im Stahleleichtbau hat und das von Schulze und Schönhoff (1989) auf den Holztafelbau übertragen wurde. Das von Kessel et al. 2016 entwickelte und 2018 veröffentlichte „erweiterte Schubfeldträgermodell“ ermöglicht erstmals die Bemessung von Deckentafeln mit freien Plattenrändern auf der Grundlage einfacher mechanischer Zusammenhänge. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Erweiterte Schubfeldtheorie für Deckentafeln“ von Colling, F.; Kessel, M.H.; Sieder, M.; Janßen, P. (2017), Bericht PRB-4.5/6 (2016), für die Initiative Praxisregeln Bau (PRB) wurden die bisherigen Erkenntnisse in einem dreiteiligen Schlussbericht zusammengefügt und sollten nun Grundlage für eine Novellierung der entsprechenden Abschnitte im zukünftigen Eurocode 5 sein.

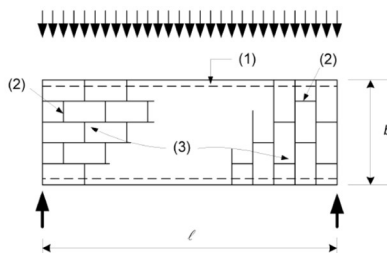
1 Einleitung

Für aussteifende Decken in Holztafelbauart sollten zukünftige europäische Regelungen für die üblichen in der Praxis vorkommenden Konstruktionen auf der Grundlage zutreffender mechanischer Modelle aufgestellt werden, die den Anspruch haben, die derzeit gültigen Regelungen zu verbessern bzw. sinnvoll zu ergänzen. Außerdem sollten zukünftige europäische Regelungen ohne zusätzliche nationale Anhänge auskommen und für alle Mitgliedsstaaten verbindlich sein.

Der Inhalt dieses Beitrags fasst die Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Erweiterte Schubfeldtheorie für Deckentafeln“ von Colling, F.; Kessel, M.H.; Sieder, M.; Janßen, P. (2017), Bericht PRB-4.5/6 (2016), für die Initiative Praxisregeln Bau (PRB) zusammen.

2 Deckentafeln nach aktueller Norm

Decken in Holztafelbauart werden nach dem heute gültigen Eurocode 5 und dem dazugehörigen Nationalen Anhang für Deutschland (NA/D) bemessen und nachgewiesen. Wie schon für die deutsche Vorgängernorm, die DIN 1052:2008-12, ist die Grundlage dafür die aus dem Stahlleichtbau stammende Schubfeldtheorie (Schnell/Czerwenka 1967 und 1970), die von Schulze und Schönhoff (1989) für die Konstruktion und Berechnung von aussteifenden Decken im Holzbau verwendet wurde und die von Kessel (2003) für die Anwendung im Holztafelbau detailliert beschrieben wurde.



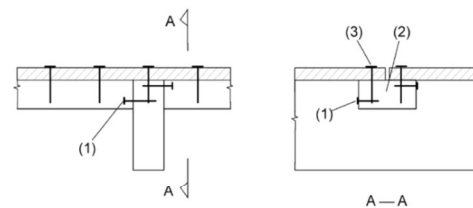
Legende
 (1) Randbalken
 (2) nicht durchgehende Stöße
 (3) Plattenanordnungen

Abb. 1 Deckentafel nach EC 5

Deckentafeln, die scheibenartig beansprucht werden, bestehen nach den aktuellen Regelungen des EC 5 (siehe Abb. 1) aus parallel, mit einem gleich-

mäßigen Abstand a_r , zueinander angeordneten Innenrippen (Deckenbalken), umlaufenden Randrippen (Randbalken) und der aussteifenden Beplankung, die aus mehreren Platten bestehen kann.

Alle Ränder der einzelnen Platten sind gemäß EC 5, Abschnitt 10.8.1, schubsteif mit Rippen verbunden. Das führt bei großen Tafelabmessungen in Richtung der Innenrippen zu zusätzlichen Stoßhölzern, wenn mehrere Platten in Richtung der Innenrippen angeordnet werden, um diese schubsteif miteinander zu verbinden (siehe Abb. 2).



Legende
 (1) Rahmenholz, durch Schrägnagelung an Rippen oder Querhölzer angeschlossen
 (2) Rahmenholz
 (3) Beplankung auf Rahmenholz genagelt

Abb. 2 Schubsteife Plattenverbindung senkrecht zu den Innenrippen nach EC 5

Der Nationale Anhang für Deutschland erlaubt abweichend von den Regelungen des Abschnitts 10.8.1 freie Plattenränder senkrecht zu den Innenrippen, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Die Platten sind um mindestens einen Rippenabstand a_r versetzt anzuordnen,
- der Rippenabstand a_r beträgt höchstens das 0,75-fache der Seitenlänge der Platten in Rippenrichtung,
- die Platten sind auch an die Rippen, auf denen die Platten nicht gestoßen sind, mit Verbindungsmitteln im Abstand a_1 angeschlossen,
- die Stützweite l der Tafel beträgt weniger als 12,50 m oder es sind höchstens der Plattenreihen vorhanden,
- die Tafelhöhe b in Lastrichtung beträgt mindestens $l/4$,
- der Bemessungswert der Einwirkungen ist nicht größer als 5,0 kN/m,
- die Schubtragfähigkeit der Tafel wird mit dem Faktor $2/3$ vermindert.

Für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist das Versagen der Verbindungsmittel, nicht das Versagen der Beplankung, maßgebend.

3 Deckentafeln nach dem erweiterten Schubfeldträgermodell

3.1 Allgemeines

Das von Kessel et al. 2016 entwickelte und 2018 veröffentlichte „erweiterte Schubfeldträgermodell“ ermöglicht erstmals die Bemessung von Deckentafeln mit freien Plattenrändern auf der Grundlage einfacher mechanischer Zusammenhänge.

Bislang wird den durch freie Plattenränder entstehenden zusätzlichen Beanspruchungen dadurch Rechnung getragen, dass die am „idealen“ Schubfeldträger ermittelten Beanspruchungen durch um ein Drittel (Beiwert $k_{v1} = 0,66$ nach DIN 1052:2008-12) deutlich reduzierte Beanspruchbarkeiten unter der zusätzlichen einschränkenden Voraussetzung gegenübergestellt werden, dass Plattenstöße versetzt angeordnet werden. Letzteres erfordert die Anordnung von mindestens zwei Plattenreihen. Die hinreichende Genauigkeit dieser Vorschrift konnte teilweise experimentell begründet, größtenteils aber mangels wissenschaftlich begründeter Erkenntnisse nur vermutet werden. So konnte nicht ausgeschlossen werden, dass sie zumindest für einige gebräuchliche Konstruktionsvarianten auch deshalb auf der unsicheren Seite liegt, weil eine Berechnung der Verformungen mangels mechanischer Grundlagen nicht zwingend erforderlich ist.

In diesem Beitrag wird nun gezeigt, dass sich zur Abschätzung der Beanspruchungen von Deckentafeln mit freien Plattenrändern Tragmodelle finden lassen, die anknüpfend an die Grundidee des Schubfeldträgers in der Lage sind, den Gleichgewichtszustand von Platten mit freien Rändern zu beschreiben. Der große Unterschied besteht darin, dass solche Platten nicht nur parallel, sondern auch senkrecht zum Rand beansprucht werden und dass die Schubspannungen in der Platte nicht mehr konstant verteilt sind.

Die hier vorgestellten erweiterten Schubfeldmodelle erlauben auch eine mechanisch begründete Abschätzung der Verformungen mit erträglichem Aufwand.

3.2 Begriffe

Im Zusammenhang mit der Gebäudeaussteifung werden üblicherweise die Begriffe Decken- und Wandscheiben verwendet, die im Massivbau für aussteifende monolithische Betonbauteile durchaus zutreffend sind, im Holztafelbau allerdings sind die Decken- und Wandtafeln zusammengesetzte Bauteile aus stabförmigen Holzbauteilen, den Rippen, der aussteifenden Beplankung und dem Verbund von Rippen und Beplankung. Das Tragverhalten dieser zusammengesetzten Bauteile entspricht nicht dem Tragverhalten einer homogenen Scheibe. Die korrekte Bezeichnung wäre „scheibenartig beanspruchte Tafel“, die von der „plattenartig beanspruchten Tafel“ zu unterscheiden ist. Dieser Beitrag behandelt ausschließlich scheibenartig beanspruchte Deckentafeln.

Scheibenartig beanspruchte Tafel	Verbundkonstruktion aus <ul style="list-style-type: none"> • Rippen mit Rechteckquerschnitt, • ein- oder beidseitig angeordneten Beplankungen und • ihrem nachgiebigen Verbund durch stabförmige Verbindungsmittel im Abstand a_1.
Rippe	Deckenbalken, Randbalken, Gurte, Stoßholz o.ä.
Beplankung	Die Beplankung besteht aus einer Mehrzahl von Platten
Platte	Holz- oder Gipswerkstoffplatte
Passplatte	Platte mit kleineren Abmessungen als die Standardplatten zur Anpassung an die individuellen Tafelabmessungen
Verbund	Verbindung von Platte und Rippe mittels stabförmiger Verbindungsmittel; das sind Klammern, Nägel oder Schrauben
schubsteifer Plattenrand	Plattenrand, der schubsteif mit einer Rippe mittels stabförmiger Verbindungsmittel verbunden ist
freier Plattenrand	nicht schubsteif verbundener Plattenrand rechtwinklig zu den Rippen
schwebender Plattenrand	freier Plattenrand parallel zu den Rippen, nicht zulässig

ℓ, ℓ_p, h, h_p	Die Länge ℓ_p einer Platte wird immer in Richtung der Stützweite ℓ der Deckentafel gemessen, die Höhe h_p immer in Richtung der Tafelhöhe h . Länge ℓ und Höhe h einer Tafel wechseln je nach Belastungsrichtung.
ℓ_{ap}	Länge einer Passplatte
h_{ap}	Höhe einer Passplatte
K_{ser}	Verschiebungsmodul des Verbindungsmittels
$S_{res} = \sqrt{S_0^2 + S_{90}^2}$	resultierender Schubfluss, Beanspruchung des Verbundes in N/mm
S_0	Schubfluss parallel zu den Rippen
S_{90}	Schubfluss rechtwinklig zu den Rippen
$f_{p,d} = F_{v,Rd} / a_1$	Verbundtragfähigkeit in N/mm
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels auf Abscheren
a_1	Abstand der Verbindungsmittel

Nachfolgend wird die „scheibenartig beanspruchte Deckentafel“ mit umlaufend schubsteif verbundenen oder freien Plattenrändern vereinfacht als Deckentafel bezeichnet.

3.3 Voraussetzungen

Für die nachfolgend behandelten Deckentafeln gelten folgende Voraussetzungen:

- Die Deckentafeln besitzen an allen vier Rändern Rippen. Die Gurte der Länge ℓ laufen zug- und drucksteif durch.
- Zwischen Rippen und Beplankung besteht ein kontinuierlicher Verbund mittels stabförmiger Verbindungsmittel.
- An den Tafelrändern, an denen die Auflagerkräfte der aussteifenden Deckentafel auf die darunter stehenden aussteifenden Wandtafeln übertragen werden, sind Auflagerrippen vorhanden, die über die gesamte Tafelhöhe h durchgehen. Hierzu kann die durchgehende Kopfrippe der aussteifenden Wandtafel dienen. Exzentrizitäten sind zu beachten.

- Rippen und Beplankung sind so steif/fest, dass sie für die Bemessung nicht maßgebend werden. D.h. es wird angenommen, dass die Tragfähigkeit der Verbindungsmittel für die Bemessung maßgebend ist.

3.4 Deckentafel-Typen

Im Folgenden werden zwei Typen von Deckentafeln unterschieden, wobei der Hauptunterschied in der Ausrichtung der Innenrippen zur äußeren Einwirkung besteht.

Deckentafel-Typ 1

Deckentafel-Typ 1 mit Lasteinleitung rechtwinklig zu den Innenrippen (Deckenbalken) und Platten als Last-Verteiler (siehe Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5):

Bei diesem Tafeltyp wird die äußere Windlast auf der Druck- und der Sogseite rechtwinklig in die Randrippen oder Gurte (z.B. durchgehender giebelseitiger Randbalken) eingeleitet und über die Platten der Beplankung in die Tafel als Ganzes verteilt. Durch die Lasteinleitung erfährt der Verbund der Randrippe mit der Beplankung neben s_0 eine zusätzliche Beanspruchung s_{90} . Bei diesem Tafeltyp ist das Vorhandensein von durchlaufenden Gurten in Form der Randrippen auch im Bereich von Deckenöffnungen die Regel.

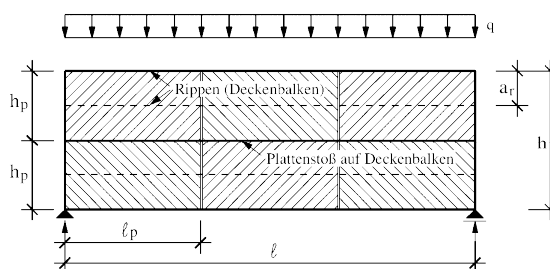


Abb. 3 Deckentafel-Typ 1 mit zwei Plattenreihen

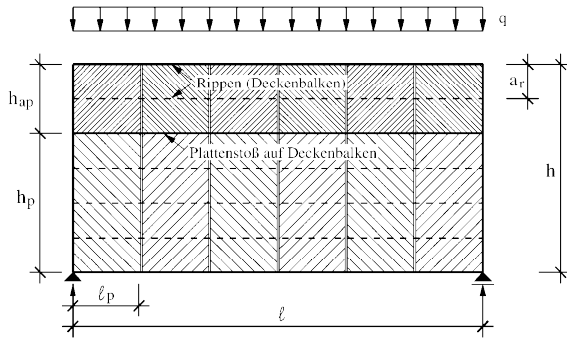


Abb. 4 Deckentafel-Typ 1 mit zwei Plattenreihen und Passplatten in der oberen Reihe

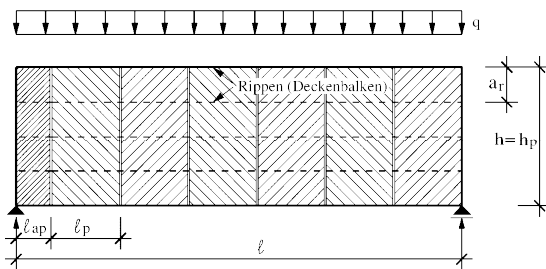


Abb. 5 Deckentafel-Typ 1 mit einer Plattenreihe und einer Passplatte am linken Auflager

Deckentafel-Typ 2

Deckentafel-Typ 2 mit Lasteinleitung parallel zu den Innenrippen (Deckenbalken), die als Last-Verteiler wirken (siehe Abb. 6, Abb. 7, Abb. 8, Abb. 9):

Bei diesem Tafeltyp wird die Windlast auf der Druck- und der Sogseite rechtwinklig in die Randrippen oder Gurte (z.B. durchgehende Kopfrippe der Traufwand) eingeleitet. Diese werden von den Deckenbalken gestützt, die die Windlast in die Tafel als Ganzes verteilen. Bei diesem Tafeltyp ist das Vorhandensein von durchlaufenden Gurten in Form der Randrippen im Bereich von Deckenöffnungen nicht die Regel.

In den Abbildungen beider Deckentafel-Typen ist zu erkennen, dass die Platten bei keiner Variante versetzt angeordnet sind. Infolge der getroffenen Annahmen für die Berechnung gibt es dafür keinen Grund, es vereinfacht die Fertigung und die Elementierung.

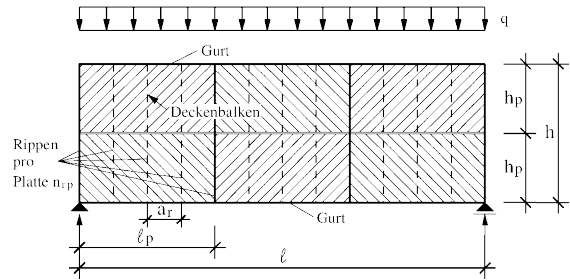


Abb. 6 Deckentafel-Typ 2 mit zwei Plattenreihen

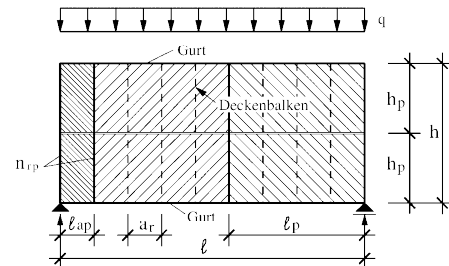


Abb. 7 Deckentafel-Typ 2 mit zwei Plattenreihen und Passplatten am linken Auflager

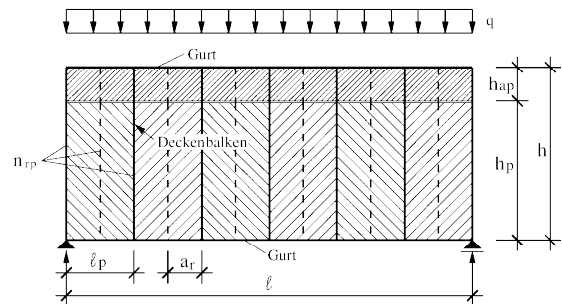


Abb. 8 Deckentafel-Typ 2 mit zwei Plattenreihen und Passplatten in der oberen Reihe

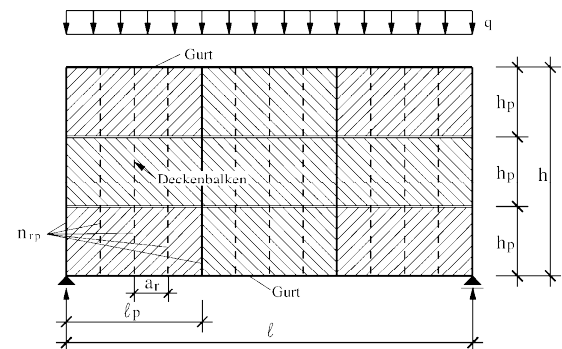


Abb. 9 Deckentafel-Typ 2 mit drei Plattenreihen

3.5 Mechanisches Modell des Schubfeldträgers

Das mechanische Modell des Schubfeldträgers wird im Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB ausführlich beschrieben. Dort werden folgende vereinfachende Annahmen getroffen:

- Die Platten der Beplankung sind Schubsteif, aber im Rahmen ihrer Schubbeanspruchung biegeschlaff.
- Da die Momente in den Rippen an den Stellen der freien Plattenränder nahe null sind, werden im statischen Modell dort Gelenke in den Rippen angeordnet, was bedeutet, dass die Rippen an diesen Stellen nur Querkräfte übertragen. Von Gelenk zu Gelenk werden die Rippen als biegestarr angenommen.
- Rippen oder Platten verteilen die Einwirkung q gleichmäßig über die Tafelhöhe h .

Ein Schubfeldträger besteht somit – in Analogie zu Fachwerkträgern – aus gelenkig miteinander verbundenen Stäben (Gurten/Rippen), deren schubsteife Ausfachung anstelle von Diagonalen aus Platten besteht. In Abb. 10 ist dies für die Tafeltypen 1 und 2 beispielhaft dargestellt.

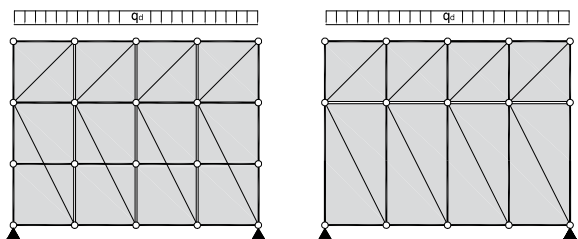


Abb. 10 Schubfeldträgermodell für Deckentafel-Typ 1 (links) und Deckentafel-Typ 2 (rechts)

Die Beanspruchungen in den Stäben und Verbänden können dann mit Hilfe bekannter mechanischer Methoden (Freischneiden und Ansatz von Gleichgewichtsbedingungen) erfolgen. Dies wird nachfolgend beispielhaft aufgezeigt.

Da die scheibenartige Beanspruchung bei Deckentafeln im Wesentlichen zu Schubverformungen führt, deren größter Anteil aus dem nachgiebigen Verbund

zwischen Rippen und Beplankung resultiert, kann eine Durchlaufwirkung bei Mehrfeldtafeln vernachlässigt werden. Daher werden nachfolgend nur Einfeld-Deckentafeln behandelt.

3.6 Deckentafel-Typ 1 - Beanspruchungen

Verbundbeanspruchungen in der auflagnahen Platte

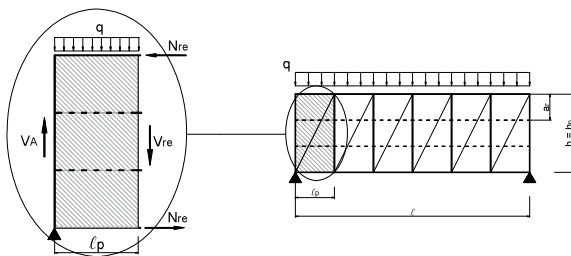


Abb. 11 Auflagnahen Platte – Deckentafel-Typ 1

In Abb. 11 sind die an der Schnittstelle am freien Rand der auflagnahen Platte auftretenden Schnittgrößen der Deckentafel eingetragen:

V_A Tafel-Querkräfte am Auflager (bei Endauflagern von Deckentafeln ist diese identisch mit der Auflagerkraft A). Diese Querkräfte werden über die Auflagerrippe kontinuierlich in die Platten eingeleitet.

V_{re} Tafel-Querkräfte am rechten Plattenrand (Tafelschnitt l_p vom Auflager entfernt). Diese Querkräfte müssen über die Rippen in die Platten eingeleitet werden.

N_{re} Normalkräfte in den Gurten an der Schnittstelle. Diese ergeben sich aus dem an dieser Stelle auftretenden Moment M_{re} geteilt durch den inneren Hebelarm der Tafel (= Tafelhöhe h):

$$N_{re} = \frac{M_{re}}{h} \tag{1}$$

Die Tafel-Querkraft V_{re} am rechten Plattenrand muss über die Rippen bzw. die Verbindungsmittel in die Platten eingeleitet werden. Die anteilige Querkraft V_r pro Rippe bzw. pro Verbindungsmittelreihe beträgt dann:

$$V_r = \frac{V_{re}}{n_r} \quad (2)$$

mit

n_r Anzahl der Verbindungsmittelreihen über die Tafelhöhe

Bei einer Tafel mit nur einer Plattenreihe und einseitiger Lasteinleitung erfährt die Platte die in Abb. 12 dargestellten Beanspruchungen:

- Einleitung der äußeren Last q über die obere Randrippe bzw. Obergurt ($\rightarrow s_{90}$),
- kontinuierliche Einleitung der Tafel-Querkraft V_A über die Auflagerrippe ($\rightarrow s_0$),
- Einleitung der Gurt-Normalkraft N_{re} über die Gurtrippen ($\rightarrow s_0$),
- Einleitung der Rippen-Querkräfte V_r ($\rightarrow s_{90}$). Die Summe dieser Rippen-Querkräfte entspricht dabei der Tafel-Querkraft V_{re} an diesem Schnitt.

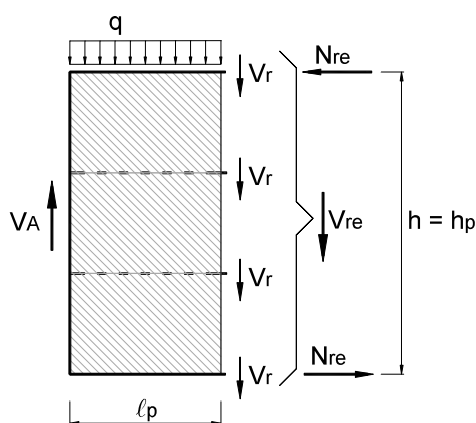


Abb. 12 Einseitige Einleitung der äußeren Last bei einer Deckentafel mit einer Plattenreihe

In der nachfolgenden Abb. 13 ist die in Abb. 12 dargestellte Platte mit den angreifenden Schnittgrößen bei einseitiger Lasteinleitung nochmals dargestellt. In diesem Bild sind auch die Beanspruchungen im Verbund zwischen den Rippen und der Platte

(Schubflüsse) dargestellt. Ein Schubfluss s_0 wirkt dabei parallel zu den Rippenachsen, ein Schubfluss s_{90} rechtwinklig dazu.

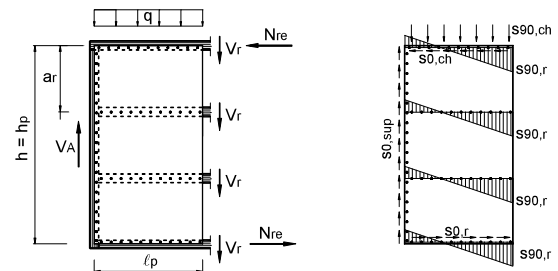


Abb. 13 Freigeschnittene auflagernahe Platte mit Schnittkräften und Schubflüssen im Verbund bei einseitiger Lasteinleitung – Deckentafel-Typ 1

In den Verbänden zwischen den Rippenabschnitten der Länge ℓ_p und der Platte treten folgende **Schubflüsse** auf:

- In der Auflagerrippe (Index „sup“ = „support“):

Die Querkraft V_A wird über die Verbindungsmittel (Verbund) parallel zur Rippenachse in die Platte eingeleitet und erzeugt dabei folgenden Schubfluss:

$$s_{0,sup} = \frac{V_A}{h} \quad (3)$$

mit

V_A Tafel-Querkraft am Auflager

h Höhe der Deckentafel

- In einer „mittleren“ Rippe (Index „r“ = „rib“):

Die Rippen-Querkräfte V_r und das zugehörige Moment $\Sigma V_r \ell_p$ kann nur vom Verbund zwischen Rippen und Platte ins Gleichgewicht gebracht werden. In diesem Verbund entsteht dabei ein Schubfluss $s_{90,r}$ rechtwinklig zur Rippenachse. Die Größtwerte am linken und rechten Rand der Platte können wie folgt berechnet werden:

Linker Rand:

$$s_{90,r}^{li} = 2 \cdot \frac{V_r}{\ell_p} = 2 \cdot \frac{V_{re}}{n_r \cdot \ell_p} \quad (4)$$

Rechter Rand:

$$s_{90,r}^{re} = 4 \cdot \frac{V_r}{\ell_p} = 4 \cdot \frac{V_{re}}{n_r \cdot \ell_p} \quad (5)$$

mit

V_r Rippen-Querkraft an der Stelle des freien Plattenrandes

V_{re} Tafel-Querkraft an der Stelle des freien Plattenrandes

ℓ_p Plattenlänge

n_r Anzahl der Verbindungsmittelreihen über die Höhe einer Tafel

- Im Gurt (Index „ch“ = „chord“):

Die Änderung der im Gurt wirkenden Normalkraft wird über die Verbindungsmittel in die Platte eingeleitet und erzeugt dabei folgenden Schubfluss:

$$s_{0,ch} = \frac{N_{re}}{\ell_p} = \frac{M_{re}}{h \cdot \ell_p} \quad (6)$$

mit

N_{re} Normalkraft im Gurt

M_{re} Biegemoment an der Schnittstelle

h Höhe der Deckentafel

ℓ_p Plattenlänge

Über den oberen Gurt wird auch die äußere Last in die Platte eingeleitet. Dies bewirkt im Verbund einen Schubfluss rechtwinklig zur Rippenachse;

bei einseitiger Lasteinleitung:

$$s_{90,ch} = q \quad (7)$$

bei beidseitiger Lasteinleitung (jeweils zur Hälfte angesetzt):

$$s_{90,ch} = \frac{q}{2} \quad (8)$$

Darüber hinaus wird der Verbund im Gurt auch durch die Rippen-Querkraft V_r beansprucht (siehe Gl. (5)).

Der im Verbund zwischen Gurt und Platte auftretende resultierende Schubfluss ergibt sich dann zu:

$$s_{res,ch} = \sqrt{(s_{0,ch})^2 + (s_{90,ch} + \max s_{90,r})^2} \quad (9)$$

Für eine Einfeld-Deckentafel können die Schnittgrößen wie folgt bestimmt werden:

$$V_A = A = \frac{q \cdot \ell}{2} \quad (10)$$

$$V_{re} = V_A - q \cdot \ell_p \quad (11)$$

$$M_{re} = A \cdot \ell_p - \frac{q \cdot \ell_p^2}{2} \quad (12)$$

Damit kann der in der Gurtrippe auftretende resultierende Schubfluss $s_{res,ch}$ auch wie folgt berechnet werden:

$$s_{res,ch} = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\ell - \ell_p}{2 \cdot h}\right)^2 + \left(1 + \frac{2}{n_r} \cdot \frac{\ell - 2 \cdot \ell_p}{\ell_p}\right)^2} \quad (13)$$

Verbundbeanspruchungen in einer inneren Platte

Die größten Beanspruchungen im Verbund zwischen Platte und Rippen treten an den Stellen auf, bei denen die größten Querkräfte auftreten. Dies ist üblicherweise im Bereich der auflagernahen Platten der Fall. Je nach Geometrie der Deckentafeln und Abmessungen der Platten kann die größte Beanspruchung im Verbund aber auch in einer innen liegenden Platte auftreten. In Abb. 14 ist eine solche Platte dargestellt.

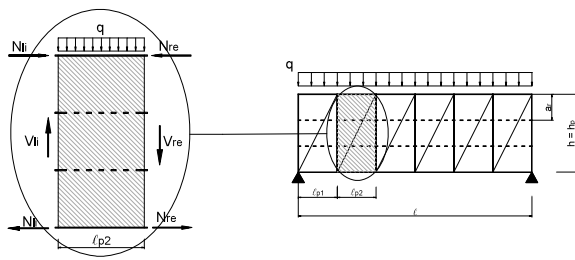


Abb. 14 „Innere“ Platte – Deckentafel-Typ 1

In Abb. 15 sind die in den Verbänden auftretenden Schubflüsse dargestellt. Aus diesem Bild ist erkennbar, dass die beidseitige Übertragung der Rippen-Querkräfte V_r zu einer erhöhten Beanspruchung $s_{90,r}$ führen kann.

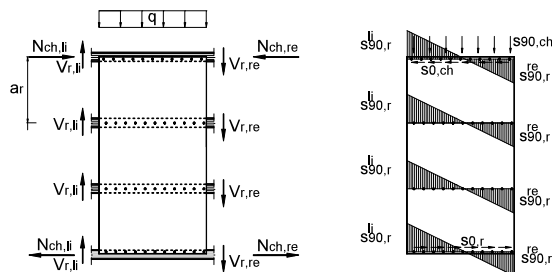


Abb. 15 Freigeschnittene „innere“ Platte mit Schnittkräften und Schubflüssen im Verbund bei einseitiger Lasteinleitung – Deckentafel-Typ 1

Der größte in der Gurtrippe auftretende Schubfluss $s_{res,ch}$ kann für diese Platte wie folgt berechnet werden (Herleitung siehe im Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB):

$$s_{res,ch} = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\ell - 2 \cdot \ell_{p1} - \ell_{p2}}{2 \cdot h}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{n_r} \cdot \frac{3 \cdot \ell - 6 \cdot \ell_{p1} - 4 \cdot \ell_{p2}}{\ell_{p2}}\right)^2} \quad (14)$$

Andere Plattenanordnungen, Plattenabmessungen und Lasteinleitungen

Gegenüber der bisher behandelten einfachen Deckentafel gibt es in der Praxis häufig folgende Abweichungen:

- Es werden mehr als nur eine Plattenreihe übereinander angeordnet.
- Die Platten können parallel zu den Deckenbalken verlegt werden.
- Es kommen sogenannte Passplatten mit kleineren Abmessungen als die Standardplatten zum Einsatz, mit deren Hilfe die gewünschten Tafelabmessungen ergänzt werden.
- Es wird eine beidseitige Lasteinleitung angesetzt (z.B. durch Aufteilung der äußeren Last in Winddruck und Windsog).

Diese Faktoren wirken sich auf die Beanspruchungen im Verbund zwischen Rippen und Platten aus. In dem Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB wurden diese Fälle berücksichtigt und die zugehörigen Berechnungsgleichungen entsprechend abgeleitet. Eine Zusammenstellung aller Gleichungen erfolgt am Ende dieses Beitrags (siehe Tab. 1).

Schubspannungen in der Beplankung

Eine auflagernahe Platte (Abb. 16 links) wird wie folgt beansprucht:

- Einleitung der Auflagerquerkraft V_A am linken Rand der Platte.
- Schubfluss $s_{90,r}$ infolge Einleitung der Rippenquerkräfte am rechten Rand.
- Einleitung der äußeren Last q über die obere Gurtrippe.

Eine „innere“ Platte (Abb. 16 rechts) wird wie folgt beansprucht:

- Schubfluss $s_{90,r}$ infolge Einleitung der Rippenquerkräfte an beiden Plattenrändern.
- Einleitung der äußeren Last q über die obere Gurtrippe.

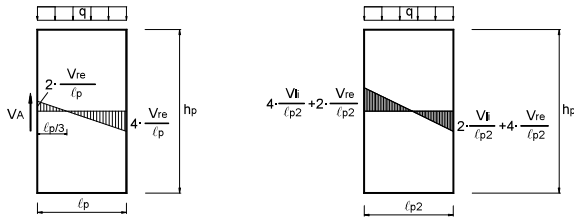


Abb. 16 Vertikale Beanspruchungen in einer Platte
links: auflagernahe Platte,
rechts: „innere“ Platte

Die maximal in diesen Platten auftretenden Schubspannungen können wie folgt berechnet werden (Herleitung siehe im Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB).

Für eine auflagernahe Platte:

$$\max \tau_p \approx \frac{4}{3} \cdot \frac{V_A}{h \cdot t} \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot \ell_p}{V_A} \right] \quad (15)$$

und für „innere“ Platten:

$$\max \tau_p \approx \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{li}}{h \cdot t} \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot \ell_{p2}}{V_{li}} \right] \quad (16)$$

Auf der sicheren Seite liegend kann die größte Schubspannung in einer Platte auch wie folgt abgeschätzt werden:

$$\max \tau_p \leq \frac{3}{2} \cdot \frac{V_A}{h \cdot t} \quad (17)$$

mit der Tafelhöhe h und der Plattendicke t.

3.7 Deckentafel-Typ 2 – Beanspruchungen

Verbundbeanspruchungen in der gurtnahen Auflagerplatte

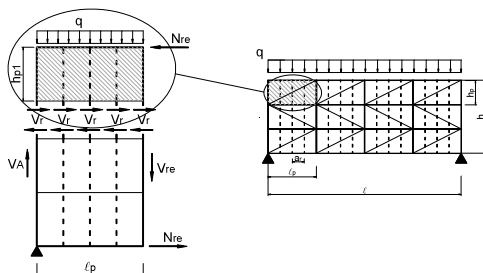


Abb. 17 Gurtnahe Auflagerplatte –
Deckentafel-Typ 2

Abb. 17 zeigt eine Deckentafel des Typs 2 mit drei Plattenreihen übereinander und im Detail die an der Schnittstelle am freien Rand der gurtnahen Auflagerplatte auftretenden Schnittgrößen:

V_A Tafel-Querkraft am Auflager (bei Endauflagern von Deckentafeln ist diese identisch mit der Auflagerkraft A). Diese Querkraft wird über die Auflagerrippe kontinuierlich in die Platten eingeleitet.

V_{re} Tafel-Querkraft am rechten Plattenrand (Tafelschnitt ℓ_p vom Auflager entfernt). Diese Querkraft wird über die stehenden Rippen (Deckenbalken) in die Platten eingeleitet.

N_{re} Normalkräfte in den Gurten an der Schnittstelle. Diese ergeben sich aus dem an dieser Stelle auftretenden Moment M_{re} geteilt durch den inneren Hebelarm der Tafel (= Tafelhöhe h):

$$N_{re} = \frac{M_{re}}{h} \quad (18)$$

Die Normalkraft N_{re} in der Gurtrippe muss am freien Plattenrand über die Rippen bzw. die Verbindungsmittel in die Platten eingeleitet werden. Die Summe dieser Rippen-Querkräfte $\sum V_r$ entspricht dabei der an der Gurtrippe angreifenden Normalkraft N_{re} :

$$\sum V_r = N_{re} \quad (19)$$

Die pro Verbund Rippe-Platte auftretende Kraft V_r kann dann wie folgt berechnet werden:

$$V_r = \frac{N_{re}}{n_{rp}} \quad (20)$$

mit

n_{rp} Anzahl der Rippen (Verbindungsmittelreihen) pro Platte:

$$n_{rp} = \frac{\ell_p}{a_r} + 1 \quad (21)$$

In der nachfolgenden Abb. 18 ist die betrachtete Platte mit den angreifenden Schnittgrößen nochmals dargestellt. In diesem Bild sind auch die Beanspruchungen im Verbund zwischen den Rippen und der Platte (Schubflüsse) dargestellt. Ein Schubfluss s_0 wirkt dabei parallel zu den Rippenachsen, ein Schubfluss s_{90} rechtwinklig dazu.

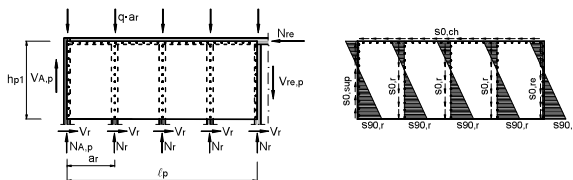


Abb. 18 freigeschnittene auflagernahe Platte mit Schnittkräften und Schubflüssen im Verbund – Deckentafel-Typ 2

In den Verbänden zwischen den Rippen und der Platte treten folgende Schubflüsse auf:

- Im Gurt (Index „ch“ = „chord“):

Die Änderung der im Gurt wirkenden Normalkraft wird über die Verbindungsmittel in die Platte eingeleitet und erzeugt dabei folgenden Schubfluss:

$$s_{0, \text{ch}} = \frac{N_{\text{re}}}{\ell_p} = \frac{M_{\text{re}}}{h \cdot \ell_p} \quad (22)$$

mit

N_{re} Normalkraft im Gurt

M_{re} Biegemoment an der Schnittstelle

h Höhe der Deckentafel

ℓ_p Plattenlänge

- In einer „mittleren“ Rippe (Index „r“ = „rib“):

Die je Rippe (Deckenbalken) anfallenden Lastanteile $q \cdot a_r$ werden jeweils über die gesamte Tafelhöhe in die Platten eingeleitet. Der zugehörige Schubfluss ergibt sich zu:

$$s_{0, r} = \frac{q \cdot a_r}{h} \quad (23)$$

mit

q äußere Streckenlast

a_r Rippenabstand

h Höhe der Deckentafel

Die am freien Plattenrand auftretenden Rippen-Querkräfte V_r und das zugehörige Moment $\Sigma V_r h_p$ können nur vom Verbund zwischen Rippen und Platte ins Gleichgewicht gebracht werden. In diesem Verbund entsteht dabei ein Schubfluss $s_{90, r}$ rechtwinklig zur Rippenachse. Die Größtwerte am oberen und unteren Rand der Platte können wie folgt berechnet werden:

Oberer Plattenrand:

$$s_{90, r}^o = 2 \cdot \frac{V_r}{h_{p1}} = 2 \cdot \frac{N_{\text{re}}}{n_{rp} \cdot h_{p1}} \quad (24)$$

Unterer Plattenrand:

$$s_{90, r}^u = 4 \cdot \frac{V_r}{h_{p1}} = 4 \cdot \frac{N_{\text{re}}}{n_{rp} \cdot h_{p1}} \quad (25)$$

mit

V_r Rippen-Querkraft an der Stelle des freien Plattenrandes

N_{re} Gurt-Normalkraft im Abstand ℓ_p vom Auflager

h_{p1} Plattenhöhe der gurnahen Auflagerplatte (Index 1)

n_{rp} Anzahl der Verbindungsmittelreihen (Rippen) pro Platte

- In der Auflagerrippe (Index „sup“ = „support“):

Hier wird die anteilige Querkraft $V_{A,p}$ der Auflagerrippe über die Plattenhöhe h_p eingeleitet wobei folgender Schubfluss auftritt:

$$s_{0,sup} = \frac{V_{A,p}}{h_{p1}} = \frac{V_A}{h} \quad (26)$$

mit

$V_{A,p}$ anteilige Platten-Querkraft am Auflager:

$$V_{A,p} = V_A \cdot \frac{h_{p1}}{h}$$

V_A Tafel-Querkraft am Auflager

h_{p1} Plattenhöhe

h Höhe der Deckentafel

Zusätzlich zu diesem Schubfluss $s_{0,sup}$ tritt in der Auflagerrippe auch noch der Schubfluss $s_{90,sup}$ infolge der Einleitung der horizontalen Rippen-Querkraft V_r auf (siehe Gl. (25)):

$$\max s_{90,sup} = 4 \cdot \frac{N_{re}}{n_{rp} \cdot h_{p1}} \quad (27)$$

Der im Verbund zwischen Auflagerrippe und Platte auftretende resultierende Schubfluss kann dann wie folgt berechnet werden:

$$s_{res,sup} = \sqrt{(s_{0,sup})^2 + (\max s_{90,sup})^2} \quad (28)$$

Für eine Einfeld-Deckentafel können die Schnittgrößen wie folgt bestimmt werden:

$$V_A = A \cdot \frac{q \cdot a_r}{2} = q \cdot \left(\frac{\ell}{2} - \frac{a_r}{2} \right) \quad (29)$$

$$M_{re} = A \cdot \ell_p - \frac{q \cdot \ell_p^2}{2} = q \cdot \left(\frac{\ell}{2} \cdot \ell_p - \frac{\ell_p^2}{2} \right) \quad (30)$$

Damit kann der in der Auflagerrippe auftretende resultierende Schubfluss $s_{res,sup}$ auch wie folgt berechnet werden:

$$s_{res,sup} = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\ell - a_r}{2 \cdot h} \right)^2 + \left(\frac{2}{n_{rp}} \cdot \frac{\ell_p}{h_{p1}} \cdot \frac{\ell - \ell_p}{h} \right)^2} \quad (31)$$

Verbundbeanspruchungen in einer inneren Auflagerplatte

Bei mehr als zwei übereinander liegenden Plattenreihen treten bei Tafeln des Typs 2 auch Platten mit 2 freien Plattenrändern auf, siehe Abb. 19.

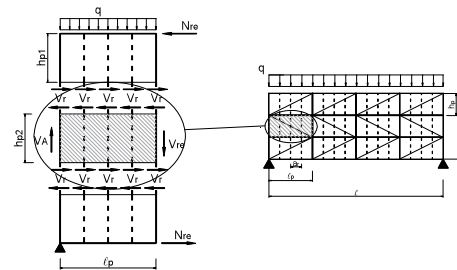


Abb. 19 „innere“ Auflagerplatte – Deckentafel-Typ 2

Die Schnittgrößen an den Plattenrändern sind weitestgehend identisch mit denen der im vorigen Abschnitt behandelten Platte. Ein bedeutender Unterschied liegt jedoch darin, dass eine „innere“ Platte sowohl am oberen als auch am unteren freien Plattenrand durch horizontale Platten-Querkraft V_r beansprucht wird. Dies führt zu einer deutlich erhöhten Beanspruchung $s_{90,r}$ in den Rippen. In Abb. 20 sind die auftretenden Schubflüsse dargestellt.

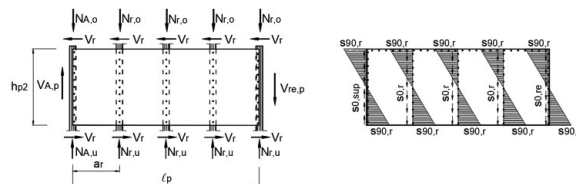


Abb. 20 freigeschnittene „innere“ Platte mit Schnittkräften und Schubflüssen im Verbund – Deckentafel-Typ 2

Der größte in der Auflagerrippe auftretende Schubfluss $s_{res,sup}$ kann für diese Platte wie folgt berechnet werden (Herleitung siehe im Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB):

$$s_{res,sup} = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\ell - a_r}{2 \cdot h}\right)^2 + \left(\frac{3}{n_{rp}} \cdot \frac{\ell_p}{h_{p2}} \cdot \frac{\ell - \ell_p}{h}\right)^2} \quad (32)$$

Andere Plattenanordnungen, Plattenabmessungen und Lasteinleitungen

Gegenüber der bisher behandelten einfachen Decktafel gibt es in der Praxis häufig folgende Abweichungen:

- Die Platten können parallel zu den Deckenbalken verlegt werden.
- Es kommen sogenannte Passplatten mit kleineren Abmessungen als die Standardplatten zum Einsatz, mit deren Hilfe die gewünschten Tafelabmessungen ergänzt werden.

Diese Faktoren wirken sich auf die Beanspruchungen im Verbund zwischen Rippen und Platten aus. Im Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB wurden diese Fälle berücksichtigt und die zugehörigen Berechnungsgleichungen entsprechend abgeleitet. In der abschließenden Tabelle (siehe Tab. 2) sind diese zusammengestellt.

Schubspannungen in der Beplankung

Eine „äußere“ Platte mit einem freien Plattenrand (Abb. 21 oben) wird wie folgt beansprucht:

- Einleitung der anteiligen Auflagerquerkraft $V_{A,p}$ am linken Rand der Platte.
- Schubfluss $s_{90,r}$ infolge Einleitung der Rippenquerkräfte am unteren freien Plattenrand.
- Einleitung der Gurt-Normalkraft N_1 am oberen Rand der Platte.

Eine „innere“ Platte (Abb. 21 unten) wird wie folgt beansprucht:

- Einleitung der anteiligen Auflagerquerkraft $V_{A,p}$ am linken Rand der Platte.
- Schubfluss $s_{90,r}$ infolge Einleitung der Rippenquerkräfte an beiden freien Plattenrändern.

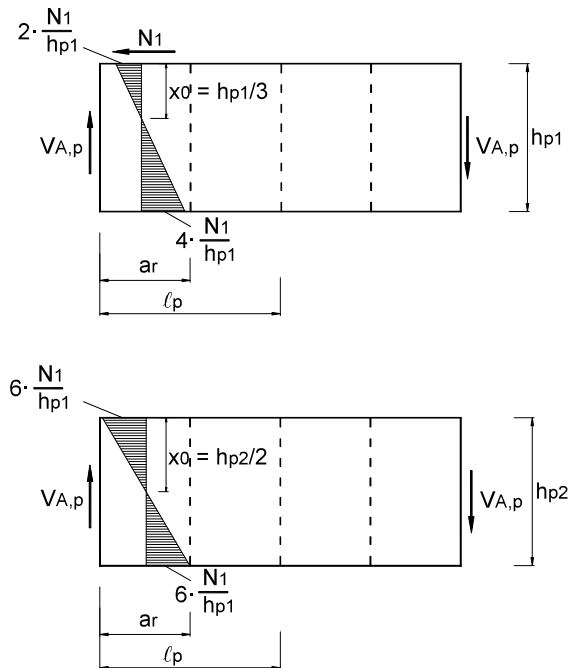


Abb. 21 Beanspruchungen in einer Platte, oben: Rand-Platte (1 freier Plattenrand), rechts: „innere“ Platte (2 freie Plattenränder)

Die maximal in diesen Platten auftretenden Schubspannungen können vereinfacht wie folgt berechnet werden (Herleitung siehe Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB):

Für eine Platte mit einem freien Plattenrand:

$$\max \tau_p \approx \frac{4}{3} \cdot \frac{V_A}{h \cdot t} \cdot \left[1 - \frac{a_r}{\ell}\right] \quad (33)$$

und für eine Platte mit zwei freien Plattenrändern:

$$\max \tau_p \approx \frac{3}{2} \cdot \frac{V_A}{h \cdot t} \cdot \left[1 - \frac{a_r}{\ell}\right] \quad (34)$$

Auf der sicheren Seite liegend kann die größte Schubspannung in einer Platte auch wie folgt abgeschätzt werden:

$$\max \tau_p \leq \frac{3}{2} \cdot \frac{V_A}{h \cdot t} \quad (35)$$

mit der Tafelhöhe h und der Plattendicke t.

3.8 Horizontale Durchbiegungen der Deckentafeln

Die Verformungen von Holztafeln ohne freie Plattenränder lassen sich nach Kessel (2003) mit Hilfe des Satzes von Castigliano in ihren einzelnen Anteilen bestimmen. Bei Deckentafeln mit freien Plattenrändern ergibt sich ein wesentlicher zusätzlicher Verformungsanteil aus den Beanspruchungen des Verbundes senkrecht zum Plattenrand, wie von Kessel und Anheier (2017) in einem DFG-Forschungsvorhaben gezeigt und experimentell an mehr als 40 Prüfkörpern bestätigt wurde.

Die horizontale Durchbiegung v_{ges} von Deckentafeln setzt sich danach aus folgenden Anteilen zusammen:

$$v_{ges} = v_G + v_E + v_{K,0} + v_{K,90} \quad (36)$$

mit

- v_G aus Schubverformungen der Platten (Schubmodul G)
- v_E aus Längsverformungen der Rippen/Gurte (E-Modul E)
- $v_{K,0}$ aus Verformungen infolge der Verbundbeanspruchungen s_0 und der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel (Verschiebungsmodul K_{ser})
- $v_{K,90}$ aus Verformungen infolge der Verbundbeanspruchungen s_{90} und der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel

Die Biegeverformungen der Rippen und der Platten werden vernachlässigt.

Im Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB wurden für verschiedene Varianten von Deckentafeln die o.g. Durchbiegungsanteile wie folgt berechnet:

$$v_G = \int_{\ell} \frac{Q \cdot \bar{Q}}{G \cdot A} dx \quad (37)$$

$$v_E = \sum_i \int_{\ell_i} \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_i \cdot A_i} dx \quad (38)$$

$$v_{K,0} = \sum_i \frac{s_{0,i} \cdot \bar{s}_{0,i}}{K_{ser}} \quad (39)$$

$$v_{K,90} = \sum_i \frac{s_{90,i} \cdot \bar{s}_{90,i}}{K_{ser}} \quad (40)$$

In den abschließenden Tabellen (siehe Tab. 1 und Tab. 2) sind die zugehörigen **Durchbiegungsanteile** von Deckentafeln mit freien Plattenrändern zusammengestellt. Für die Durchbiegungsanteile von Deckentafeln mit allseits schubsteif verbundenen Plattenrändern wird auf den Bericht der Initiative Praxisregeln Bau PRB verwiesen.

Tab. 1 Berechnung des größten Schubflusses im Verbund und der Durchbiegungsanteile Deckentafeltyp 1

Deckentafeltyp 1	
Maximaler Schubfluss s_{res} im Verbund	
$\max \left\{ \begin{array}{l} q \cdot \frac{l}{2 \cdot h} \\ q \cdot \sqrt{\left(\frac{l - l_{p1}}{2 \cdot h}\right)^2 + \left(k_q + \frac{2}{n_r} \cdot \frac{l - 2 \cdot l_{p1}}{l_{p1}}\right)^2} \\ q \cdot \sqrt{\left(\frac{l - 2 \cdot l_{p1} - l_{p2}}{2 \cdot h}\right)^2 + \left(k_q + \frac{1}{n_r} \cdot \frac{3 \cdot l - 6 \cdot l_{p1} - 4 \cdot l_{p2}}{l_{p2}}\right)^2} \end{array} \right.$	
Durchbiegungsanteile	
$v_G = \frac{3}{2} \cdot \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot G \cdot h \cdot t}$	
$v_E = \frac{5}{192} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot A \cdot h^2}$	
$v_{K,0} = \left[n_{hp} \cdot \frac{l^2}{4 \cdot h^2} + \frac{l}{2 \cdot h} \right] \cdot \frac{a_1}{K_{ser}} \cdot q$	
$v_{K,90} = \left[\frac{3}{2} \cdot n_{hp}^2 - 4 \cdot n_{hp} + n_{hp} \cdot n_r + 2 \right] \cdot \frac{a_1}{K_{ser}} \cdot \frac{q}{n_r}$	

Tab. 2 Berechnung des größten Schubflusses im Verbund und der Durchbiegungsanteile Deckentafeltyp 2

Deckentafeltyp 2	
Maximaler Schubfluss s_{res} im Verbund	
$\max \left\{ \begin{array}{l} q \cdot \left(\frac{l - a_r}{2 \cdot h}\right) \\ q \cdot \sqrt{\left(\frac{l - a_r}{2 \cdot h}\right)^2 + \left(\frac{2}{n_{rp}} \cdot \frac{l_{p1}}{h_{p1}} \cdot \frac{l - l_{p1}}{h}\right)^2} \\ q \cdot \sqrt{\left(\frac{l - a_r}{2 \cdot h}\right)^2 + \left(\frac{3}{n_{rp}} \cdot \frac{l_{p1}}{h_{p2}} \cdot \frac{l - l_{p1}}{h}\right)^2} \end{array} \right.$	
Durchbiegungsanteile	
$v_G = \frac{3}{2} \cdot \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot G \cdot h \cdot t}$	
$v_E = \frac{5}{192} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot A \cdot h^2}$	
$v_{K,0} = \frac{l}{4 \cdot h} \cdot \left[\frac{l}{h} + n_{lp} \right] \cdot \frac{a_1}{K_{ser}} \cdot q$	
$v_{K,90} = \left[\frac{3}{2} \cdot n_{hp} - 2 \right] \cdot \frac{l^2}{h^2} \cdot \frac{l_p}{h_p} \cdot \frac{a_1}{K_{ser}} \cdot \frac{q}{n_{rp}}$	

Hinweis:

Diese Gleichungen dürfen auch für auskragende Deckentafeln herangezogen werden, wenn für die Stützweite ℓ die doppelte Kraglänge ℓ_k angesetzt wird ($\ell = 2 \cdot \ell_k$).

Hinweis:

Da die Durchbiegung einer Deckentafel Auswirkungen auf die Schiefstellung von darunter angeordneten Wänden und damit auch auf die zugehörigen Abtriebslasten hat, ist die Tafeldurchbiegung für die Bemessungslast der Tragfähigkeit q_d , d.h. für die 1,5-fach erhöhte charakteristische Last, zu berechnen.

q	einwirkende Streckenlast	a _r	Rippenabstand (Abstand der Deckenbalken)
ℓ	Tafellänge	v _G	Durchbiegungsanteil infolge Beanspruchung der Beplankung
ℓ _{p1}	Länge der auflagnahen Platte mit einem freien Rand	v _E	Durchbiegungsanteil infolge Beanspruchung der Rippen
ℓ _{p2}	Länge der Platte mit 2 freien Plattenrändern (zweiten Platte vom Auflager her gesehen)	v _{K,0}	Durchbiegungsanteil infolge Verbund-Beanspruchung s ₀
h	Tafelhöhe	v _{K,90}	Durchbiegungsanteil infolge Verbund-Beanspruchung s ₉₀
h _{p1}	Höhe einer Platte mit 1 freien Plattenrand (an Gurten angeordnete Platte)	G	Schubmodul des Plattenwerkstoffs der Beplankung
h _{p2}	Höhe einer Platte mit 2 freien Plattenrändern (mittlere Platte über die Höhe gesehen)	t	Dicke des Plattenwerkstoffs der Beplankung
k _q	Beiwert zur Berücksichtigung der Lasteinleitung: = 1 bei Deckentafeln mit einseitiger Lasteinleitung = 0,5 bei Deckentafeln mit beidseitiger Lasteinleitung	E	Elastizitätsmodul der Rippen
n _r	Anzahl der Verbindungsmittelreihen über die Tafelhöhe: $\frac{h}{a_r} + n_{hp}$	A	Querschnittsfläche der Rippen
n _{hp}	Anzahl der Plattenreihen in Richtung der Tafelhöhe	a ₁	Abstand der Verbindungsmittel untereinander
n _{rp}	Anzahl der Verbindungsmittelreihen (= Rippen) pro Platte: $\frac{\ell_p}{a_r} + 1$	K _{ser}	Verschiebungsmodul der Verbindungsmittel
		n _{ep}	Anzahl der Platten in Richtung der Tafellänge ℓ
		$\overline{\ell_p}$	mittlere Länge einer Beplankungs-Platte ℓ/n _{ep}
		$\overline{h_p}$	mittlere Höhe einer Beplankungs-Platte h/n _{hp}

4 Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung, 2010.
- [2] DIN EN 1995/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter-Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, 2013
- [3] Czerwenka, G. und Schnell, W. (1967): Einführung in die Rechenmethoden des Leichtbaus, Erster Band, Mannheim: Bibliographisches Institut Mannheim.
- [4] Schnell, W. und Czerwenka, G. (1970): Einführung in die Rechenmethoden des Leichtbaus, Zweiter Band, Mannheim: Bibliographisches Institut.
- [5] Schulze, H. und Schönhoff, T. (1989): Bemessungsvorschläge für Deckenscheiben in Holzbauart mit dreiseitiger Lagerung,“ Bauen mit Holz, pp. 96-101.
- [6] Colling, F. (2017): Aussteifung von Gebäuden in Holztafelbauart, Ingenieurbüro für Holzbau, Karlsruhe
- [7] Kessel, M.H. (2003): Tafeln – Eine linear elastische Beschreibung. Holzbau Kalender, Bruderverlag Karlsruhe, S. 599-632
- [8] Kessel, M.H. (2004): Scheibenbeanspruchung von Tafeln. In Erläuterungen zu den Abschnitten 8.7 und 10.6 der DIN 1052-08/2004. Herausgeber Deutsche Gesellschaft für Holzforschung DGfH, S. 56-74
- [9] Kessel M.H., Sieder M., Anheier D., Janßen P. (2018): Floor panels with free edges – Extension of the shear field girder. In: G. Dill-Langer (Hrsg.), Timber: Bonds, Connections and Structures. Materialprüfanstalt (MPA) der Universität Stuttgart, pp. 271-288
- [10] Kessel M. H.; Anheier D. (2017): Entwicklung einer Traglasttheorie für Holztafeln. Abschlussbericht DFG KE 901/4-3, Institut für Baukonstruktion und Holzbau iBHolz, Technische Universität Braunschweig
- [11] Colling F.; Kessel M.H.; Sieder M.; Janßen P. (2017): Erweiterte Schubfeldtheorie für Deckentafeln. Initiative Praxisregeln Bau (PRB), Bericht PRB-4.5/6 (2016)
- [12] Colling F.; Kessel M.H.; Sieder M.; Janßen P. (2017): Deckentafeln - Parameterstudien. Initiative Praxisregeln Bau (PRB), Bericht PRB-4.14/15 (2016)

5 Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mike Sieder
Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. Martin H. Kessel
Dipl.-Ing. Peer Janßen

Institut für Baukonstruktion und Holzbau iBHolz
Technische Universität Braunschweig
Schleinitzstraße 21 A
38106 Braunschweig

Kontakt:
ibholz@tu-braunschweig.de

Prof. Dr.-Ing. François Colling

Ing.-Büro Colling
Reifersbrunner Str. 14
86415 Mering