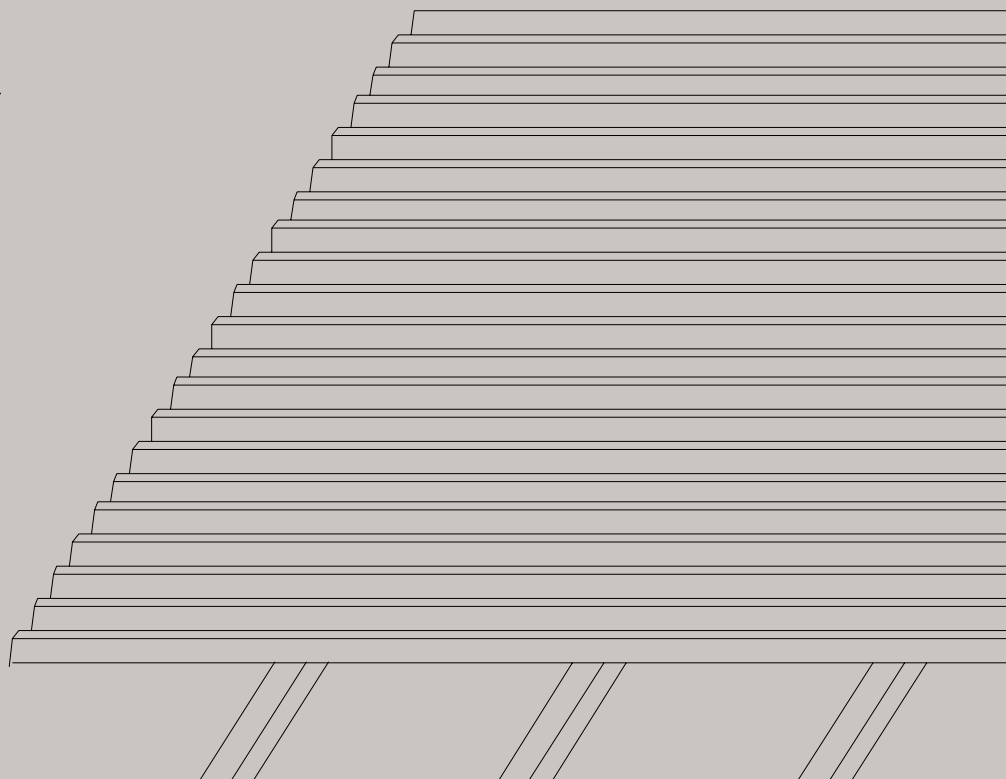
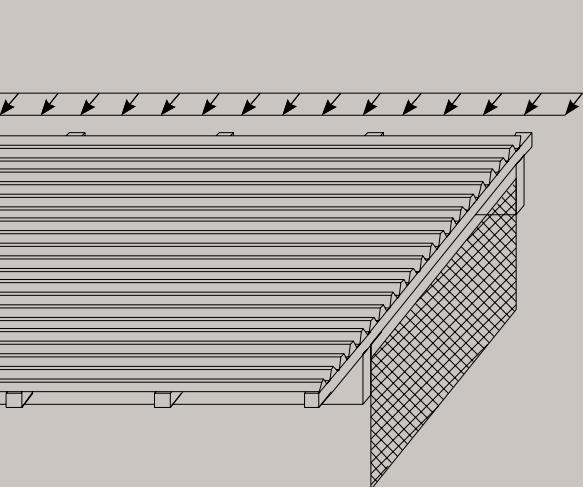


holzbau statik aktuell 01



holzbau statik aktuell 01 | 2014 – 11

Stahltrapezelemente zur Aussteifung hölzerner Dachkonstruktionen



Impressum

Herausgeber:

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.
Heinz-Fangman-Straße 2
D-42285 Wuppertal

Kontakt:

+49 (0)2 02 / 769 72 73-5 fax
info@brettschichtholz.de
info@brettsperrholz.org
info@balkenschichtholz.org
info@studiengemeinschaft-holzleimbau.de
www.brettschichtholz.de
www.brettsperrholz.org
www.balkenschichtholz.org
www.studiengemeinschaft-holzleimbau.de

In der Schriftenreihe Holzbau-Statik-Aktuell werden praxisnahe Fachartikel gesammelt. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

Bearbeitung:

Dr.-Ing. Ireneusz Bejtka, Blaß & Eberhart GmbH,
Ingenieurbüro für Baukonstruktionen
Pforzheimer Str. 15b
D-76227 Karlsruhe

Redaktion:

Dr.-Ing. Tobias Wiegand, Wuppertal

Gestaltung:

Schöne Aussichten: Oliver Iserloh, Düsseldorf

Bildnachweis:

Alle Darstellungen:
Blaß & Eberhart GmbH, Karlsruhe

Erschienen: 11/2014
Holzbau-Statik Aktuell 1/2014

Die Wortmarke INFORMATIONSDIENST HOLZ ist Eigentum des Informationsverein Holz e.V., Esmarchstraße 3, D-10407 Berlin, www.informationsvereinholz.de.

Inhalt

Seite 2		_ Impressum / Bildnachweis
3	1	_ Einleitung
3	2	_ Stand der Normung
4	3	_ Vereinfachte Bemessung nach DIN 18807-3
4	3.1	_ Geltungsbereich
6	3.2	_ Bemessungsregeln aus DIN 18807-3
6	3.2.1	_ Interaktion von Vertikallasten und Scheibenwirkung
7	3.2.2	_ Randträger und Lasteintragungsträger
7	3.2.3	_ Berechnung des Schubfeldes
10	3.2.4	_ Nachweis der Verbindungsmittel
10	3.2.5	_ Kennzeichnung
11	3.3	_ Zusätzliche Regeln für Schubfelder bei Holzhallen
11	3.3.1	_ Allgemeines
11	3.3.2	_ Schubfeldträger als Einfeldträger
13	3.3.3	_ Schubfeldträger als Kragträger
14	4	_ Beispiel
27	6	_ Literatur und Normen

1 _ Einleitung

Dacheindeckungen aus Stahltrapezprofilen können auch bei Holzhallen als Schubfelder ausgebildet und zur Abtragung horizontaler Wind- und Stabilisierungslasten herangezogen werden. Dies ermöglicht die Reduzierung der Anzahl der sonst erforderlichen Wind- und Aussteifungsverbände oder gar den Verzicht auf Verbände und führt zu wirtschaftlichen Konstruktionen.

In diesem Beitrag wird gezeigt, wie die ursprünglich für den Stahlbau entwickelten Bemessungsregeln auch für Holzbauten angewendet werden können. Es wird dazu auf das gemäß DIN EN 1993-1-3/NA weiterhin zulässige vereinfachte Bemessungsverfahren nach DIN 18807-3 Bezug genommen und dieses Verfahren für die Erfordernisse des Holzbaus erweitert.

2 _ Stand der Normung

Das Tragverhalten von Schubfeldern bei Konstruktionen aus Stahl ist in Deutschland seit der Einführung der Eurocodes im Jahr 2012 nach DIN EN 1993-1-3:2010-12 [1] unter Berücksichtigung des nationalen Anhanges DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12 [2]¹ zu berechnen.

Die Schubfeldbemessung nach DIN EN 1993-1-3 basiert auf der Grundlage der Methode von Bryan/Davies. Die Norm enthält keine für die Berechnung von Schubfeldern direkt anwendbaren Formeln. Vielmehr verweist DIN EN 1993-1-3:2010-12, Abschnitt 10.3.1, auf eine 236 Seiten umfassende Publikation zur Bemessung von Schubfeldern [3]. Das in dieser Publikation beschriebene Verfahren erlaubt zwar eine wirklichkeitsnahe Berechnung des Schubfeldes, ist aber für die tägliche Arbeit zu aufwändig. Das ist vermutlich der Grund, dass über eine Anmerkung zu DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12, Abschnitt 10.3.1, erlaubt wird, andere Regeln für die Bemessung von Schubfeldern der Literatur [4], [5] und [6] oder DIN 18807-3 [7], [8]² zu entnehmen. Über die Anmerkung zu DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12, Abschnitt 10.3.1 ist für die Anwendung in Deutschland, auch eine Berechnung des Schubfeldes nach dem auf [4] und [5] basierenden vereinfachten Verfahren der DIN 18807-3 möglich.

¹ Wird im Folgenden allgemein auf DIN EN 1993-1-3 verwiesen, so wird immer auch auf den zugehörigen nationalen Anhang DIN EN 1995-1-3/NA Bezug genommen.

² Wird im Folgenden allgemein Bezug auf DIN 18807-3 genommen so sind DIN EN 18807-3:1987-05 und DIN 18807-3/A1:2001-05 gemeint.

3 _ Vereinfachte Bemessung nach DIN 18807-3

3.1 _ Geltungsbereich

Die in DIN 18807-3 enthaltenen „einfachen“ Berechnungsregeln gelten nur für Schubfelder mit einer allseitigen Lagerung. Das Stahltrapezschubfeld ist also umlaufend an allen vier Rändern schubfest mit der Unterkonstruktion zu verbinden. Schubfelder mit nur zwei- oder dreiseitiger Lagerung können mit den „einfachen“ Berechnungsregeln der DIN 18807-3 nicht bemessen werden. Für die hier behandelten hölzernen Dachtragwerke mit Stahltrapezschubfeld sind somit nur folgende Schubfeldkonfigurationen möglich:

- a) Die Stahltrapezprofile werden rechtwinklig zu den Bindern und parallel zur Richtung der horizontalen Lasten verlegt, siehe Abb. 3.1. Für die Ausbildung des Schubfeldes sind bei dieser Verlegerichtung der Stahltrapezprofile keine weiteren unterstützenden Bauteile, wie z.B. Pfetten, erforderlich. Die Holzbinder sind kontinuierlich gegen Kippen gestützt.
- b) Greift bei der in Abb. 3.1 gezeigten Konstruktion die Horizontallast in Richtung der Dachbinder an, so sind für die Ausbildung des Schubfeldes parallel zur Lastrichtung angeordnete Lasteinleitungsträger zur Vermeidung eines „Ziehharmonika-Effektes“ erforderlich. Der erforderliche Abstand der unterstützenden Bauteile ergibt sich aus der Bemessung des Schubfeldes.
- c) Die Stahltrapezbleche werden parallel zu den Bindern und rechtwinklig zur Richtung der horizontalen Lasten verlegt, siehe Abb. 3.2. In diesem Fall bedarf es weiterer unterstützender Bauteile, meist Pfetten, die rechtwinklig zu der Haupttragrichtung der Stahltrapezprofile und rechtwinklig zu den Bindern angeordnet werden und die Lasten zwischen den Bindern übertragen. Der Abstand dieser unterstützenden Bauteile ergibt sich aus der Bemessung des Schubfeldes. Eingehängte Pfetten sind konstruktiv einfacher als Koppelpfetten, da bei eingehängten Pfetten mit zu den Bindern bündiger Oberkante das Schubfeld allseitig ohne Zwischenhölzer an die Unterkonstruktion angeschlossen werden kann. Die Holzbinder sind im Abstand der unterstützenden Pfetten gegen Kippen gestützt.
- d) Greift bei der in Abb. 3.2 gezeigten Konstruktion die Horizontallast in Richtung der Dachbinder an, so sind für die Ausbildung des Schubfeldes keine Lasteinleitungsträger erforderlich.

Bei auf Bindern verlegten Koppelpfetten (Abb. 3.3) bedarf es der Anordnung von zusätzlichen Schubhölzern zur Ausbildung eines geschlossenen Schubfeldes. Diese Schubhölzer müssen schubsteif an die Unterkonstruktion angeschlossen werden. Die Nachgiebigkeit der zwischen den Schubhölzern und der Unterkonstruktion angeordneten Verbindungsmittel ist ggf. zu berücksichtigen.

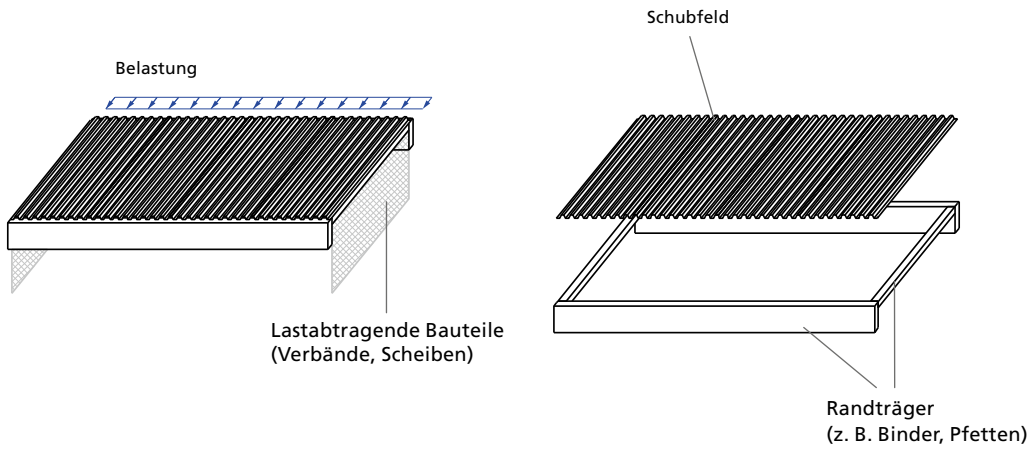


Abb. 3.1
Anordnung der Stahltrapezprofile rechtwinklig zu den Bindern und parallel zur Hallenlängsrichtung

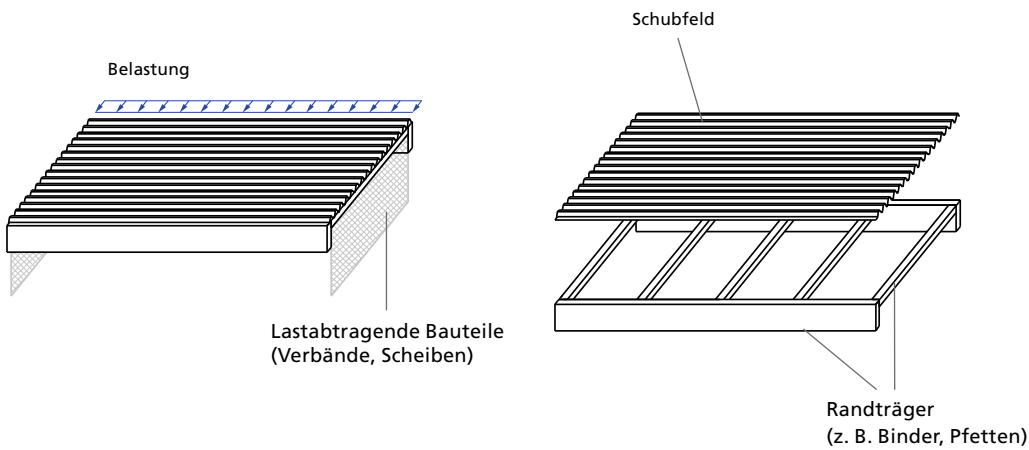


Abb. 3.2
Anordnung der Stahltrapezprofile parallel zu den Bindern und rechtwinklig zur Hallenlängsrichtung ohne zusätzliche Schubverbinder

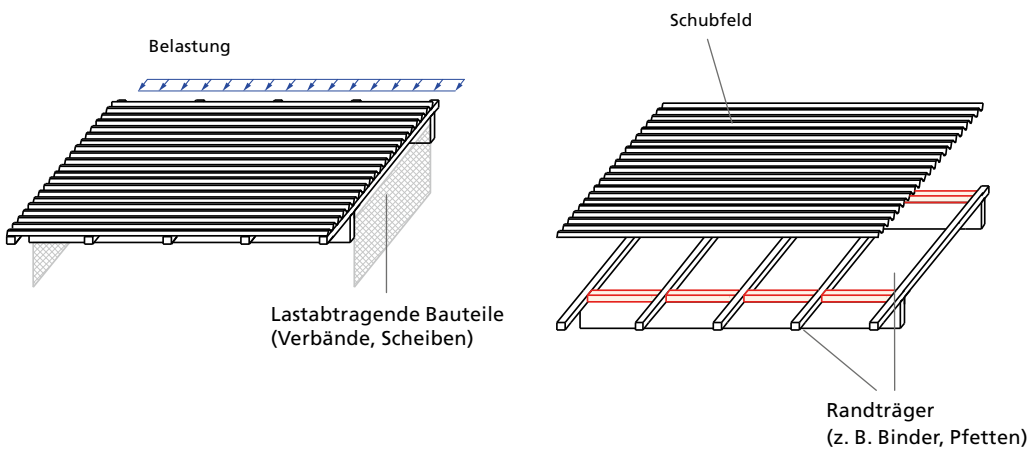


Abb. 3.3
Anordnung der Stahltrapezprofile parallel zu den Bindern und rechtwinklig zur Hallenlängsrichtung mit erforderlichen Schubverbindern

An den Enden der Schubfelder müssen Verbände oder Scheiben zur Lastweiterleitung angeordnet werden.

Da die Größe der Stahltrapezprofile in der Regel kleiner ist als die Größe des Schubfeldes, müssen die einzelnen Stahltrapezprofile entlang ihrer Quer- und Längsstöße miteinander kraftschlüssig verschraubt werden. Die üblicherweise verwendeten Schrauben sind auch für die Aufnahme des Schubflusses entlang der Ränder zu bemessen.

Die Anordnung der Stahltrapezprofile rechtwinklig zur Hallenlängsrichtung gemäß Abb. 3.2 und 3.3 eignet sich prinzipiell besonders für geneigte Dächer, da hier das Wasser entlang der Sicken zu den Traufen abfließen kann. Es ist aber zu beachten, dass die Stahltrapezprofile immer in den Tiefpunkten zu befestigen sind und diese Anschlüsse daher dauerhaft dicht sein müssen. Üblicherweise wird man eine zweite Abdichtungsebene auf dem Schubfeld vorsehen.

3.2_ Bemessungsregeln aus DIN 18807-3

3.2.1_ Interaktion von Vertikallasten und Scheibenwirkung

Die Bemessung von Schubfeldern aus Stahltrapezprofilen zur Weiterleitung von horizontalen Lasten aus DIN 18807-3 basiert auf dem Modell von Schardt/Strehl [4], [5]. Nach DIN 18807-3:1987-06, Abschnitt 3.6.1.1, können die horizontalen Schubkräfte unabhängig von den Vertikallasten aufgenommen werden. Ein Interaktionsnachweis mit den Spannungen infolge vertikaler und horizontaler Lasten ist im Schubfeld also nicht erforderlich. Lediglich längs der Ränder sind die zusätzlichen Kräfte aus Schubfeldbeanspruchung nach DIN 18807-3:1987-06, 3.6.2.2.2, bei der Bemessung zu berücksichtigen.

Auch nach DIN EN 1993-1-3 muss ein Interaktionsnachweis im Feld nicht geführt werden.

Die Stahltrapezprofile eines Schubfeldes sollten zunächst auf Plattenwirkung bemessen werden. Die Schubbeanspruchungen aus Scheibenwirkung sollte nicht größer als $0,25 f_{yb} / \gamma_{M1}$ sein. Damit wird sichergestellt, dass sich Schädigungen der Profilbleche infolge Biegung nicht einstellen, bevor der Widerstand der Scheibenwirkung aktiviert wird.

3.2.2_ Randträger und Lasteintragungsträger

Gemäß DIN 18807-3:1987-06, Abschnitt 3.6.1.2, werden die Stahltrapezprofile schubfest miteinander und mit allen Randträgern verbunden. Längsrandträger, die gleichzeitig z.B. als Pfetten wirken, dürfen im Bereich der Schubfelder keine Gelenke besitzen. Schubfelder dürfen je nach Schubfeldkonfiguration (siehe Abb. 3.1 bis 3.3) durch Bauteile zur Einleitung oder zur Unterstützung der Stahltrapezprofile zur Abtragung von Vertikallasten in kleinere rechteckige

Flächen unterteilt werden. Der erforderliche Abstand dieser unterstützenden Bauteile ergibt sich aus der Schubfeldbemessung. Die Einleitung der Horizontallasten erfolgt über die als Lasteinleitungsträger wirkenden Randträger.

3.2.3_ Berechnung des Schubfeldes

Die Berechnung eines Schubfeldes erfolgt dann nach der technischen Biegelehre mit der Querkraft $V = q \cdot L/2$ für einen durch eine konstante Streckenlast q beanspruchten Einfeldträger der Länge L .

Der mittlere Schubfluss T berechnet sich dabei aus dem Quotienten der maximalen Querkraft V_{\max} im Schubfeld und der Länge b des Schubfeldes in Richtung der Querkraft.

Es ist nachzuweisen, dass der mittlere Schubfluss T geringer ist als der kleinste der drei Schubfeldwerte T_1 , T_2 und T_3 nach DIN 18807-1:1987-06, Abschnitt 5.

Mit dem Schubfeldwert T_1 wird nachgewiesen, dass die Spannungen aus den Querbiegemomenten nicht größer sind als die Fließspannung des Stahls.

Die Begrenzung der Relativverschiebung des Ober- gegenüber dem Untergurt zu $1/20$ der Profilhöhe wird über den Schubfeldwert T_2 erfasst. Der Schubfeldwert T_2 ist nur bei Dächern mit bituminös verklebtem Dachaufbau zu berücksichtigen.

Der Schubfeldwert T_3 erfasst den Nachweis der Gesamtverformung. Es muss die Gesamtverformung des Schubfeldes so begrenzt werden, dass der Gleitwinkel des verformten Schubfeldes den Wert $1/750$ nicht überschreitet. Dieser Nachweis wird ohne Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel geführt, siehe hierzu auch 3.3.

Die Schubfeldwerte werden nach [4] und [5] berechnet oder den Prüfbescheiden des jeweiligen Profils entnommen. In Tabelle 3.1 werden die Schubfeldwerte $\min(L_5, \text{zul } T_1, \text{zul } T_2, L_G, K_1, K_2, K_3$ und $\text{zul } T_3$ beschrieben.

Der Nachweis eines Schubfeldes durch den Vergleich des Schubflusses T mit den Schubfeldwerten T_1, T_2 und T_3 ist kein Tragfähigkeits-, sondern ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis. Die Schubfeldwerte T_2 und T_3 ergeben sich aus Begrenzungen der Verformung. Der Schubfeldwert T_1 ist zwar als Spannungskriterium definiert, dennoch versagt bei einer Überschreitung der Grenzlasterlast das Schubfeld nicht. Die Überschreitung des Grenzwertes T_1 führt zunächst nur zu größeren plastischen Verformungen. Aus diesem Grund sind die oben genannten Nachweise $T \leq \min(T_1, T_2, T_3)$ mit $\gamma_f = 1,0$ auf der Einwirkungsseite und mit $\gamma_M = 1,0$ auf der Widerstandsseite zu führen.

Tabelle 3.1

Schubfeldwerte

Formelzeichen	Bedeutung	Beiwerte für Schubfeldlängen $L_s < \min L_s$
L_s	Schubfeldlänge	—
$\min L_s$	Ab dieser Länge weichen die Schubfeldwerte für das unendlich lange Schubfeld nur noch 3% von den genauen Werten für die jeweilige Schubfeldlänge ab.	—
zul T_1	Schubfluss, bei dem die Randspannung in einer Ecke des Profils aufgrund der Querbiegemomente die Streckgrenze erreicht.	zul $T_{1, \text{kurz}} = a_1 \cdot \text{zul } T_1$
zul T_2	Schubfluss, bei dem die Relativverschiebung zwischen dem Ober- und dem Untergurt 1/20 der Profilhöhe erreicht.	zul $T_{2, \text{kurz}} = a_1 \cdot \text{zul } T_2$
zul T_3	Zulässiger Schubfluss, der die Verformung des Schubfeldes begrenzt.	—
L_G	Grenzlänge, unterhalb der zul T_3 nachgewiesen werden muss.	—
K_1	Verformungsbeiwert, der die reine Schubverzerrung der ebenen Querschnittsteile berücksichtigt.	$K_{1, \text{kurz}} = K_1$
K_2	Verformungsbeiwert, der die Verformung aus der Profilverwölbung berücksichtigt.	$K_{2, \text{kurz}} = a_2 \cdot K_2$
K_3	Beiwert zur Erfassung des Zusammenwirkens von Schubfluss und Auflagerkraft in den Stegen des Trapezprofils.	$K_{3, \text{kurz}} = a_1 \cdot K_3$
a_1	Beiwert für Schubfeldlängen $L_s < \min L_s$	$a_1 = 2 \frac{L_s}{\min L_s} - \left(\frac{L_s}{\min L_s} \right)^2 < 1$
a_2	Beiwert für Schubfeldlängen $L_s < \min L_s$	$a_2 = \frac{\min L_s}{L_s} > 1$

3.2.4 _ Nachweis der Verbindungsmittel

Nach DIN 18807-3:1987-06, 3.6.2.3 darf auch beim Nachweis der Verbindungsmittel entlang der Längsstöße zwischen den einzelnen Stahltrapezprofiltafeln und entlang der Längsränder der mittlere Schubfluss T zugrunde gelegt werden.

Im Gegensatz zum Nachweis des Schubfeldes, ist der Nachweis der Verbindungsmittel ein Tragfähigkeitsnachweis. Die Belastung der Verbindungsmittel ist folglich als Produkt des Bemessungswerts des mittleren Schubflusses T_d und des Abstands der Verbindungsmittel e zu ermitteln und dem Bemessungswert der Tragfähigkeit des Verbindungsmittels gegenüberzustellen.

Beim Nachweis der Verbindungsmittel entlang der Längsstöße darf der Abstand der Verbindungsmittel e nicht kleiner als 50 mm und nicht größer als 666 mm sein. Nach DIN EN 1993-1-3:2010-12, Abschnitt 10.3.4 (2) darf der Abstand der Verbindungsmittel 500 mm nicht überschreiten. Weiterhin müssen nach [9] die Verbindungselemente vom Längsrand der Profiltafel mindestens 10 mm bzw. $1,5 \cdot d$ (d = Lochdurchmesser) entfernt sein.

Für die Verbindung der Stahltrapezbleche entlang der Querränder mit den Randträgern darf nach DIN 18807-3:1987-06, 3.6.2.4 ebenfalls der Bemessungswert des mittleren Schubflusses T_d zugrunde gelegt werden.

Die Trapezbleche sind an allen Tiefsicken mit den Randträgern zu verbinden. Zusätzliche Scherkraftbeanspruchungen infolge Lasteinleitung rechtwinklig zur Achse der Träger oder Zugkraftbeanspruchungen infolge Vertikallasten (Windsog) oder Schubfeldwirkung nach DIN 18807-1:1987-06, Abschnitt 5, sind bei der Berechnung der Verbindungsmittel zu berücksichtigen. Nach [9] muss der Abstand der Verbindungselemente vom Ende der Profiltafeln mindestens 20 mm bzw. $2 \cdot d$ (d = Lochdurchmesser) betragen.

Falls die Verbindungsmittel als Sonderausführung nach DIN 18807-3:1987-06, Bild 7, ausgeführt werden, dürfen für die Berechnung des Schubflusses erhöhte Schubfeldwerte nach [5] und [6] angesetzt werden.

3.2.5 _ Kennzeichnung

Werden Dachflächen planmäßig als Schubfelder ausgebildet und rechnerisch berücksichtigt, müssen sie in den Verlegeplänen als „Schubfeld“ besonders gekennzeichnet sein.

3.3 _ Zusätzliche Regeln für Schubfelder bei Holzhallen

3.3.1 _ Allgemeines

Die DIN 18807-3 regelt die Bemessung von Schubfeldern, welche aus Stahltrapezprofilen und Unterkonstruktionen aus Stahl hergestellt werden. Bei der Ausbildung von Stahltrapezprofilen zu Schubfeldern bei Holzkonstruktionen sind auch die Vorgaben der DIN EN 1995-1-1:2010-12 [10] zu beachten. Nach DIN EN 1995-1-1:2010-12, Absatz 9.2.5.3 (2) sollte die rechnerische Ausbiegung der Aussteifungskonstruktion aus den Ersatzlasten und anderen äußeren Einwirkungen $L/500$ nicht überschreiten, wobei L die Länge der Längsrandträger ist. Zusätzlich zu den Vorgaben aus DIN 18807-3 sind die aussteifenden Schubfelder in Holzkonstruktionen daher so zu bemessen, dass die Gesamtverformung eines Schubfeldes unter Bemessungslasten unter Berücksichtigung aller Verformungsanteile den Wert $L/500$ nicht überschreitet.

Die Ermittlung der Verformung eines Schubfeldes unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten ist nach DIN 18807-3 nicht möglich. Die Gesamtverformung eines Schubfeldes kann jedoch z.B. auf der Grundlage der Methode von Bryan/Davies nach [3] berechnet werden.

Es wird zwischen Schubfeldern aus parallel oder rechtwinklig zur Spannrichtung der auszusteifenden Binder verlegten Stahltrapezprofilen sowie zwischen als Einfeld- oder Kragträger wirkenden Schubfeldern unterschieden. Für die sich ergebenden vier Kombinationen aus statischem System und Verlegerichtung der Stahltrapezprofile können die Verformungen in der Schubfeldebene berechnet werden. Die jeweilige Gesamtverformung setzt sich zusammen aus der Blechverwölbung des Stahltrapezprofils, aus den Schubverzerrungen der ebenen Querschnittsteile, aus der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Quer- und Längsrand, aus der Nachgiebigkeit der Verbindungen im Längsstoß zwischen den einzelnen Stahltrapezprofilen und aus der Dehnung der Querrandträger.

3.3.2 _ Schubfeldträger als Einfeldträger

Die Nachgiebigkeit eines als Einfeldträger wirkenden Schubfeldes wird mit den Gleichungen in Tabelle 3.2 berechnet.

Tabelle 3.2

Nachgiebigkeit von Stahltrapezschubfeldern: Einfeldträger

Nachgiebigkeit aus:	Stahltrapezprofile in Richtung der angreifenden Horizontalkräfte gespannt	Stahltrapezprofile rechtwinklig zur Richtung der angreifenden Horizontalkräfte gespannt
– der Blechverwölbung des Stahltrapezprofiles	$c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2}$ für $\frac{b}{d} \geq 10$	$c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_5 \cdot K}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2}$ für $\frac{b}{d} \geq 10$
– der Schubverzerrung der ebenen Querschnittsteile	$c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot \alpha_2 \cdot (1 + \nu) \left(1 + \frac{2 \cdot h}{d}\right)}{E \cdot t \cdot b}$	$c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot (1 + \nu) \left(1 + \frac{2 \cdot h}{d}\right)}{E \cdot t \cdot b}$
– der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Querrand	$c_{2,1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p \cdot \alpha_3}{b^2}$	$c_{2,1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p}{b^2}$
– der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel im Längsstoß	$c_{2,2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s}$	$c_{2,2} = \frac{s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot s_s}$
– der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Längsrand	$c_{2,3} = \frac{4 \cdot (n + 1) \cdot s_{sc}}{n^2 \cdot n_{sc}}$	$c_{2,3} = \frac{2 \cdot s_{sc}}{n_{sc}}$
– der Dehnung der Querrandträger	$c_3 = \frac{n^2 \cdot a^3 \cdot \alpha_3}{4,8 \cdot E_H \cdot A \cdot b^2}$	$c_3 = \frac{n^2 \cdot b^3}{4,8 \cdot E_H \cdot A \cdot a^2}$
Gesamtsteifigkeit ohne Anteile aus Dehnung der Querrandträger	$C_{ges,1} = c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3}$	$C_{ges,1} = \frac{b^2}{a^2} \cdot (c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3})$
Gesamtsteifigkeit mit Anteilen aus Dehnung der Querrandträger	$C_{ges,2} = C_{ges,1} + c_3$	$C_{ges,2} = C_{ges,1} + c_3$

Mit:

a Schubfeldabmessung rechtwinklig zu den Rippen/Sicken;	n_{sh} Anzahl der Bleche in einem Schubfeld;
A Querschnittsfläche Querrandträger;	p Abstand der Verbindungsmittel am Querrand;
b Schubfeldabmessung parallel zu den Rippen/Sicken;	s_p Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Querrand;
d Rippen-/Sickenbreite;	s_{pr} Nachgiebigkeit der Anschlüsse zwischen Quer- und Längsträgern;
E Elastizitätsmodul Stahl, $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$;	s_s Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Längsstoß
E_H Elastizitätsmodul der hölzerner Randträger;	s_{sc} Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Längsrand (auch an Schubverbindern);
h Profilhöhe;	t Blechdicke;
K Profilkonstante aus [3];	α_i Beiwerte zur Berücksichtigung von Zwischenrippen (Lasteinleitungsträger) und Querstoßen aus [3];
n Anzahl der Einzelscheiben des Schubfelds;	β_i Beiwert zur Berücksichtigung der Anzahl der Verbindungsmittel in den Querträgern je Blech aus [3];
n_p Anzahl der Querträger (Lasteinleitungsträger und Querrandträger);	ν Querdehnzahl Stahl, $\nu = 0,3$.
n_s Anzahl der Verbindungsmittel in jedem Längsstoß;	
n_{sc} Anzahl der Verbindungsmittel in jedem Längsrandträger, Längsträger;	

3.3.3 Schubfeldträger als Kragträger

Die Gleichungen in Tabelle 3.3 dienen zur Berechnung der Nachgiebigkeit eines als Kragarm wirkenden Schubfeldes.

Tabelle 3.3

Nachgiebigkeit von Stahltrapezschubfeldern: Kragträger

Nachgiebigkeit aus:	Stahltrapezprofile in Richtung der angreifenden Horizontalkräfte gespannt	Stahltrapezprofile rechtwinklig zur Richtung der angreifenden Horizontalkräfte gespannt
– der Blechverwölbung des Stahltrapezprofiles	$c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2}$ für $\frac{b}{d} \geq 10$	
– der Schubverzerrung der ebenen Querschnittsteile		$c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot (1 + \nu) \left(1 + \frac{2 \cdot h}{d}\right)}{E \cdot t \cdot b}$
– der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Querrand		$c_{2,1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p}{b^2}$
– der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel im Längsstoß		$c_{2,2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s}$
– der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel am Längsrand		$c_{2,3} = \frac{2 \cdot s_{sc}}{n_{sc}}$
– der Dehnung der Querrandträger	$c_3 = \frac{2 \cdot a^3}{3 \cdot E_H \cdot A \cdot b^2}$	$c_3 = \frac{2 \cdot b^3}{3 \cdot E_H \cdot A \cdot a^2}$
Gesamtsteifigkeit ohne Anteile aus Dehnung der Querrandträger	$c_{ges,1} = c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3}$	$c_{ges,1} = \frac{b^2}{a^2} \cdot (c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_{2,3})$
Gesamtsteifigkeit mit Anteilen aus Dehnung der Querrandträger	$c_{ges,2} = c_{ges,1} + c_3$	$c_{ges,2} = c_{ges,1} + c_3$

Mit den Formelzeichen aus Tabelle 3.2.

Der Nachgiebigkeit s_s für Schrauben zur Befestigung der Bleche untereinander wird in der Literatur mit 0,25 mm/kN angegeben.

Die Befestigung auf der hölzernen Unterkonstruktion erfolgt in den Tiefsicken, da die Nachgiebigkeiten der Verbindungsmittel bei einer Befestigung in den Hochsicken sehr groß werden und die Grenzverformung für Aussteifungs-

verbände nach DIN EN 1995-1-1:2010-12, 9.2.5.3 (2) kaum einzuhalten ist.

Als Nachgiebigkeiten s_p , s_{sc} und s_{pr} für die Befestigung der Bleche an die hölzerne Unterkonstruktion in den Tiefsicken sind die reziproken Werte der Verschiebungsmodule K_{ser} nach DIN EN 1995-1-1 [10], [11] anzusetzen.

4 _ Beispiel

4.1 _ Geometrie des Bauwerks

Es wird die in Bild 4.1 dargestellte Halle bemessen. Die Halle hat eine Breite von 20 m und eine Länge von 40 m. Sie besteht aus sechs BS-Holz-Bindern.

In den drei mittleren Hallenfeldern ist ein Lichtband im Firstbereich ausgebildet. Die beiden Endfelder werden als Stahltrapezschubfelder nach DIN 18807-3 ausgebildet. Die Sicken der Stahltrapezprofile verlaufen senkrecht zu den Achsen der BS-Holzbindern. Die Stahltrapezprofile werden rechtwinklig zu den Bindern und in Lastrichtung gemäß Abb. 3.1 verlegt. Auf eine Anordnung von Innenrippen kann bei diesem Schubfeld daher verzichtet werden. Das Schubfeld wird aus den beiden parallelen Bindern sowie den beiden Randträgern gebildet. Die Lasten aus dem Schubfeld müssen in die Wandverbände oder Wandscheiben weitergeleitet werden. Da das Schubfeld zur Weiterleitung von Windlasten und von Stabilisierungslasten herangezogen wird, müssen die Stabilisierungslasten über Druckriegel in die Schubfelder weitergelei-

tet werden. Hierzu werden in den drei Innenfeldern Pfetten angeordnet. Die Nachweise werden nur für das Schubfeld geführt. Nachweise für die Stahltrapezprofile zur Aufnahme vertikaler Lasten werden in dem Beispiel nicht behandelt.

Für den Nachweis der Stahltrapezprofile können die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und γ_M zu 1,0 angenommen werden.

Die Verbindungsmittel entlang der Längsstöße zwischen den einzelnen Stahltrapezprofilen und entlang der Längs- und Querträger werden im Gegensatz zum Nachweis der Stahltrapezprofile mit dem Bemessungswert des Schubflusses T_d bemessen. Es wird von einem konstanten Schubfluss längs aller Ränder ausgegangen.

Die Gesamtverformung des Schubfeldes wird unter Berücksichtigung aller Nachgiebigkeiten gemäß den Vorgaben der DIN EN 1995-1-1 auf $L/500$, wobei L die Länge der Längsträger ist, begrenzt. Die Berechnung der Gesamtverformung erfolgt auf der Grundlage des Modells aus [3], siehe auch Tabelle 3.2.

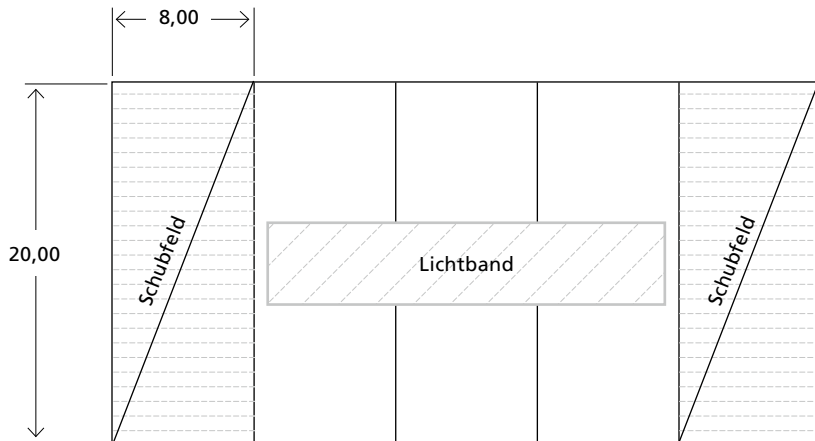


Bild 4.1
Geometrie und
Einwirkungen

Länge der Halle: $L_{\text{ges}} = 5 \cdot 8 \text{ m} = 40 \text{ m}$	Gewicht der Dach- konstruktion: $g_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$
Breite der Halle: $B_{\text{Halle}} = 20 \text{ m}$	Schneelast: $s_k = 0,8 \cdot 0,85 \text{ kN/m}^2 = 0,68 \text{ kN/m}^2$
Höhe der Halle: $H_{\text{Halle}} = 10 \text{ m}$	Modifikationsbeiwert: $k_{\text{mod}} = 0,9$
Querschnitt der GL24h-Träger: $b \cdot h = 180 \cdot 1300 \text{ mm}^2$	Klasse der Last- einwirkungsdauer: KLED = kurz

4.2 _ Ermittlung der Stabilisierungslast aus dem Kippen der Brettschichtholzträger nach DIN EN 1995 – 1 – 1

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot I_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 180^2}{1.300 \cdot 20.600} \cdot 9.667 = 9,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.32}) \quad (1)$$

$$I_{ef} = 0,9 \cdot I + 2 \cdot h = 18 \text{ m} + 2 \cdot 1,3 \text{ m} = 20,6 \text{ m} \quad (\text{EC 5-1-1, Tabelle 6.1}) \quad (2)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{9,12}} = 1,62 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.30}) \quad (3)$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,62^2} = 0,38 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.34}) \quad (4)$$

Die Pfetten außerhalb der Schubfelder werden an die Brettschichtholz-Träger drucksteif mit Balkenschuhen angeschlossen. Zugkräfte können nicht übertragen werden. Jedes der beiden Schubfelder muss daher, abhängig von der Windrichtung bzw. der Richtung, in die Träger kippen können, vier Brettschichtholz-Träger aussteifen. Der äußere Brettschichtholz-Träger (Giebelträger) wird jedoch nur mit der halben Last angesetzt.

Innere Brettchichtholz-Träger

$$M_{g,k} = \frac{\left(0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot 8m + 5 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,18m \cdot 1,3m\right) \cdot (20m)^2}{8} = 259 \text{ kNm} \quad (5)$$

$$M_{s,k} = \frac{0,68 \frac{kN}{m^2} \cdot 8m \cdot (20m)^2}{8} = 272 \text{ kNm} \quad (6)$$

Giebelträger

$$M_{g,k} = \frac{\left(0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot 4m + 5 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,18m \cdot 1,3m\right) \cdot (20m)^2}{8} = 159 \text{ kNm} \quad (7)$$

$$M_{s,k} = \frac{0,68 \frac{kN}{m^2} \cdot 4m \cdot (20m)^2}{8} = 136 \text{ kNm} \quad (8)$$

Die Stützen des Giebels sind als Einfeldstützen ausgebildet. Die als Gleichlast angesetzte Streckenlast aus Wind ergibt sich für eine mittlere Höhe der Halle am Giebel von 10 m zu:

$$w_k = 0,50 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,8 \cdot \frac{10 \text{ m}}{2} = 2,00 \frac{kN}{m} \quad (9)$$

Die Stabilisierungslast berechnet sich aus den vorgenannten Schnittgrößen zu:

$$q = k_\ell \frac{n \cdot N}{k_{f,3} \cdot l} \quad \text{mit} \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 9.37}) \quad (10)$$

$$k_\ell = \sqrt{\frac{15}{20}} = 0,866 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 9.38}) \quad (11)$$

$$k_{f,3} = 30 \quad (\text{EC 5-1-1, Tabelle 9.2}) \quad (12)$$

$$N = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M}{h} \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 9.36}) \quad (13)$$

$$q_k = 0,866 \cdot \frac{(1 - 0,38)}{30 \cdot 20} \cdot \frac{1}{1,3} \cdot (259 \cdot 3 + 272 \cdot 3 + 159 + 136) = 1,30 \frac{kN}{m} \quad (14)$$

$$q_d = 0,866 \cdot \frac{(1 - 0,38)}{30 \cdot 20} \cdot \frac{1}{1,3} \cdot (1,35 \cdot 259 \cdot 3 + 1,5 \cdot 272 \cdot 3 \cdot 0,5 + 1,35 \cdot 159 + 1,5 \cdot 136 \cdot 0,5) = 1,36 \frac{kN}{m} \quad (15)$$

Die Stahltrapezprofile des Schubfeldes werden mit dem charakteristischen Wert der Beanspruchung q_k , die Verbindungsmittel sowie die hölzernen Bauteile mit dem Bemessungswert der Beanspruchung q_d bemessen. Für die Ermittlung des Bemessungswertes q_d ist Wind die vorherrschende veränderliche Einwirkung. Schnee kann daher mit einem Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,5$ abgemindert werden. Für den Bemessungswert der Beanspruchung wird daher die Lastfallkombination $1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot w_k + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot s_k$ maßgebend.

Das Schubfeld wird mit dem charakteristischen Wert p_k und die Verbindungsmittel mit dem Bemessungswert p_d berechnet:

$$p_k = w_k + q_k = 2,00 \frac{kN}{m} + 1,30 \frac{kN}{m} = 3,30 \frac{kN}{m} \quad (16)$$

$$p_d = 1,5 \cdot w_k + q_d = 1,5 \cdot 2,00 \frac{kN}{m} + 1,36 \frac{kN}{m} = 4,36 \frac{kN}{m} \quad (17)$$

Die Auflagerkraft im Schubfeld berechnet sich zu A_k bzw. A_d :

$$A_k = \frac{p_k \cdot l}{2} = \frac{3,30 \frac{kN}{m} \cdot 20 m}{2} = 33,0 kN \quad (18)$$

$$A_d = \frac{p_d \cdot l}{2} = \frac{4,36 \frac{kN}{m} \cdot 20 m}{2} = 43,6 kN \quad (19)$$

4.3 _ Bemessung der Stahltrapezprofile

Für das Schubfeld wird das Stahltrapezprofil WU 162/250 AK nach allgemeinem bauaufsichtlichen Prüfzeugnis Nr. P-2006-2002 [12] in Positivlage und mit einer Blechdicke von $t = 1,5$ mm verwendet.

$$T_{\text{vorh}} = \frac{A_k}{a} = \frac{33,0 \text{ kN}}{8 \text{ m}} = 4,13 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (20)$$

$$L_{1,\text{min}} = 3,57 \text{ m} < L_{s,\text{vorh}} = 8 \text{ m} \quad (21)$$

$$T_{1,\text{zul}} = 6,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > T_{\text{vorh}} \quad (22)$$

$$T_{2,\text{zul}} = 9,99 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > T_{\text{vorh}} \quad (23)$$

$$L_s = 8 \text{ m} < L_G = 8,04 \text{ m} \quad (24)$$

$$G_s = \frac{10^4}{\left(0,166 + \frac{15,513}{8}\right)} = 475 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (25)$$

$$T_{3,\text{zul}} = \frac{4.750 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{750} = 6,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > T_{\text{vorh}} \quad (26)$$

Alle Nachweise sind eingehalten. Das gewählte Profil ist mit einer Ausnutzung von 65% zur Aussteifung des Daches für die horizontalen Lasten ausreichend bemessen.

Alternativ wird nun dasselbe Profil mit einer Blechdicke von $t = 0,88$ mm nachgewiesen, jedoch mit einer Sonderausführung der Befestigung gemäß DIN 18807-3; Bild 7:

$$L_{s,\text{min}} = 2,14 \text{ m} < L_{s,\text{vorh}} = 8 \text{ m} \quad (27)$$

$$T_{1,\text{zul}} = 13,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > T_{\text{vorh}} \quad (28)$$

$$T_{2,\text{zul}} = 14,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > T_{\text{vorh}} \quad (29)$$

Wegen $L_s = 8 \text{ m} > L_G = 2,4 \text{ m}$ ist T_3 für die Bemessung nicht maßgebend.

Wegen der Sonderausführung der Befestigung nach DIN 18807-3; Bild 7 muss die Scheibendicke nach DIN 18807, Teil 3, 3.6.2.4 für die Ausführung mit $t = 0,88$ mm berechnet werden:

Das WU 162/250 AK Profil mit einer Blechdicke von $t = 0,88$ mm ist mit einer Ausnutzung von 32% zur Aussteifung des Daches für die horizontalen Lasten ausreichend bemessen. Obwohl auch das Profil mit einer Blechdicke von $t = 0,75$ mm als Schubfeld ausreichend tragfähig wäre, darf dieses hier nicht verwendet werden, weil die im Prüfzeugnis angegebene Grenzstützweite überschritten ist.

$$d_{\min} = 2,7 \cdot 0,88 \cdot \sqrt[3]{\frac{40}{30}} = 2,62 \text{ mm} \quad (30)$$

Gewählte U-Scheibe 30/30/3 mm

4.4_Kippnachweis der BS-Holzträger im Bereich des Lichtbandes

Außerhalb der Schubfelder werden zur Reduzierung der Kipplänge der Brettschichtholz-Träger Pfetten angeordnet. Die Last aus den Pfetten wird in die Schubfelder eingeleitet. Die Pfetten werden alle 4 m in den Innenbereichen außerhalb der Schubfelder angeordnet (3 Felder).

Nachweis der Binder:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot I_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 180^2}{1.300 \cdot 4.000} \cdot 9.667 = 47,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.32}) \quad (31)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{47,0}} = 0,72 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.30}) \quad (32)$$

$$k_{crit} = 1,00 \rightarrow \text{keine Kippgefahr} \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.34}) \quad (33)$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{(1,35 \cdot 259 + 1,5 \cdot 272) \cdot 10^6 \cdot 6}{180 \cdot 1.300^2} = 14,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{m,d} = 16,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (34)$$

Nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 wird jede Pfette als Zwischenabstützung mit der Stützkraft $F_k = N_k/80$ mit N_k nach Gleichung (9.36) aus der Abstützung von zwei Biegeträgern beansprucht:

$$N_k = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_k}{h} = (1 - 0,38) \cdot \frac{(259 + 272) \cdot 2}{1,3} = 507 \text{ kN} \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.36}) \quad (35)$$

$$\rightarrow F_k = \frac{507 \text{ kN}}{80} = 6,33 \text{ kN} \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.35}) \quad (36)$$

Diese Last ist geringer als Zyl $F_t = 16,55 \text{ kN}$ für das Stahltrapez mit einer Blechdicke von $t = 0,88$ mm. Die Einzellasten F_k können demnach in die Schubfelder eingeleitet werden.

4.5 _ Nachweis der Randtragglieder

Die Beanspruchung infolge Schubfeldwirkung muss von den Randträgern aufgenommen werden. Die Tragfähigkeitsnachweise werden mit den Bemessungswerten der Beanspruchung p_d geführt.

$$p_d = 4,36 \frac{kN}{m} \quad (37)$$

$$V_d = \frac{4,36 \cdot 20}{2} = 43,6 \text{ kN} \quad (38)$$

$$M_d = \frac{4,36 \cdot 20^2}{8} = 218 \text{ kNm} \quad (39)$$

$$F_{z,d} = -F_{D,d} = \frac{M_d}{h} = \frac{218}{8} = 27,3 \text{ kN} \quad (40)$$

Die Binder müssen für eine zusätzliche Zug- und Druckkraft von $F_{z,d} = -F_{D,d} = 27,3$ kN bemessen werden. Diese Normalkraft können die Binder i.d.R. ohne weiteren Nachweis aufnehmen.

Die 8 m langen Randträger aus Vollholz C24 entlang den Traufen mit einem Querschnitt von 200 x 200 mm² sind für die Auflagerkraft nach Gleichung (38) zu bemessen.

$$\lambda = \frac{8.000}{0,289 \cdot 200} = 138 \quad (41)$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{138}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7.400}} = 2,34 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.21}) \quad (42)$$

$$k = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (2,34 - 0,3) + 2,34^2) = 3,44 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.27}) \quad (43)$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 + \lambda_{rel}^2}} = 0,168 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.25}) \quad (44)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{43,6 \cdot 10^3}{200 \cdot 200}}{0,168 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 21} = 0,45 < 1 \quad (\text{EC 5-1-1, Gl. 6.23}) \quad (45)$$

Die Nachweise der Verbindungsmittel für die Befestigung der Stahltrapezprofile untereinander und mit der Unterkonstruktion sind nachfolgend zusammengestellt. Diese Nachweise werden ebenfalls mit den Bemessungswerten der Beanspruchung geführt.

4.6 _ Verbindungen der Stahltrapezprofile untereinander

Gewählt EJOT JT2-3-4,8.

Die Tragfähigkeit beträgt nach europäisch technischer Zulassung [13] bei zu verbindenden Blechdicken $t_1 = t_2 = 0,88 \text{ mm}$:

$$V_{R,d} = \frac{2,30 \text{ kN}}{1,3} = 1,73 \text{ kN} \quad (46)$$

$$e_{\max} = \frac{V_{R,d}}{T_d} = \frac{V_{R,d} \cdot a}{A_d} = \frac{1,73 \text{ kN} \cdot 8 \text{ m}}{43,6 \text{ kN}} = 0,32 \text{ m} \quad (47)$$

Gewählter Abstand: $e = 0,25 \text{ m}$

Die Forderung nach DIN 18807-3:1987-06, 3.6.2.3.1, wonach der Abstand e im Bereich zwischen 50 mm und 666 mm sein muss, ist eingehalten. Auch die Forderung nach DIN EN 1993-1-3:2010-12, 10.3.4 (2) ist mit $e = 250 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$ eingehalten.

4.7 _ Befestigung des Stahltrapezprofils auf den Bindern

Der Abstand der Tiefsicken beträgt $e = 250 \text{ mm}$. Die Schrauben werden nur in den Tiefsicken angeordnet. In Richtung der Binder werden die Schrauben durch $V_{\text{parallel,d}}$ beansprucht.

$$V_{\text{parallel,d}} = T_d \cdot e = \frac{A_d}{a} \cdot e = \frac{43,6 \text{ kN}}{8 \text{ m}} \cdot 0,25 \text{ m} = 1,36 \text{ kN} \quad (48)$$

Die Verbindungsmittel müssen zugleich die Last $V_{\text{rechtwinklig,d}}$ aus der Lasteinleitung aufnehmen:

$$V_{\text{rechtwinklig,d}} = p_d \cdot e = 4,36 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0,25 \text{ m} = 1,09 \text{ kN} \quad (49)$$

Die Auflager-Kontaktkräfte berechnen sich wie folgt:

$$R_s = K_s \cdot T_d \cdot e = 1,51 \cdot \frac{43,6 \text{ kN}}{8 \text{ m}} \cdot 0,25 \text{ m} = 2,06 \text{ kN} \quad (50)$$

Die Zugkräfte aus Windsog werden in diesem Beispiel nicht angesetzt, sind in der Regel jedoch zu beachten.

Gewählt EJOT JT3-2-6,5-100

Die Tragfähigkeit der Schrauben im Blech beträgt nach europäisch technischer Zulassung ETA-10/0200 [13]:

$$V_{R,d} = \frac{2,80 \text{ kN}}{1,33} = 2,11 \text{ kN} \quad \text{für Abscheren} \quad (51)$$

$$N_{R,d} = \frac{3,80 \text{ kN}}{1,33} = 2,86 \text{ kN} \quad \text{auf Zug (maßgebend)} \quad (52)$$

Die Tragfähigkeit der Schrauben im Holz berechnet sich für Schrauben mit einer Gesamtlänge $L = 100 \text{ mm}$ und einer Gewindelänge $l_G = 80 \text{ mm}$ wie folgt:

$$R_{ax,k} = 6,5 \cdot 80 \cdot 8,575 \cdot \frac{1}{10^3} = 4,46 \text{ kN} \quad (53)$$

$$R_{ax,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot R_{ax,k} = 3,09 \text{ kN} \quad \text{auf Herausziehen} \quad (54)$$

$$f_{h,k} = 16,4 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (55)$$

$$M_{y,Rk} = 9.742 \text{ Nmm} \quad (56)$$

$$R_{la,k} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4} = 2,43 \text{ kN} \quad (57)$$

$$R_{la,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot R_{la,k} = 1,68 \text{ kN} \quad \text{für Abscheren (maßgebend)} \quad (58)$$

Der Nachweis für $n = 2$ Verbindungsmittel in jeder Tiefsicke lautet:

$$\frac{\sqrt{V_{\text{parallel},d}^2 + V_{\text{rechtwinklig},d}^2}}{n \cdot R_{\text{ta},d}} + \frac{R_s}{n \cdot N_{R,d}} = \frac{\sqrt{1,36^2 + 1,09^2}}{2 \cdot 1,68} + \frac{2,06}{2 \cdot 2,86} = 0,88 < 1 \quad (59)$$

Die Befestigung erfolgt als Sonderausführung nach DIN 18807-3:1987-06, Bild 7.

4.8 _ Befestigung am Randlängsträger:

Gewählt EJOT JT3-2-6,5-100

Die Tragfähigkeit der Schrauben im Blech kann der europäisch technischen Zulassung ETA-10/0200 [13] entnommen werden.

$$V_{R,d} = \frac{2,80 \text{ kN}}{1,33} = 2,11 \text{ kN} \quad \text{für Abscheren} \quad (60)$$

Die Tragfähigkeit im Holz $R_{\text{ta},d}$ entspricht der Tragfähigkeit nach Gleichung (58).

$$e_{\text{max}} = \frac{V_{R,d}}{T_d} = \frac{V_{R,d} \cdot a}{A_d} = \frac{1,68 \text{ kN} \cdot 8 \text{ m}}{43,6 \text{ kN}} = 0,31 \text{ m} \quad (61)$$

Gewählter Abstand: $e = 0,25 \text{ m}$

Die Forderung nach DIN 18807-3:1987-06, 3.6.2.3.2, wonach e im Bereich zwischen 50 mm und 666 mm sein muss, ist eingehalten. Die Befestigung erfolgt als Sonderausführung nach DIN 18807-3:1987-06, Bild 7. In diesem Fall konnte mit erhöhten Schubfeldwerten das dünnere Stahltrapezprofil mit einer Blechdicke von 0,88 mm als Schubfeld nachgewiesen werden.

Das Tragverhalten für eine lotrechte Belastung müsste jedoch gesondert untersucht werden.

Abschließend wird noch für das dünnere Stahltrapezprofil mit einer Blechdicke t von 0,88 mm die Forderung der DIN EN 1993-1-3 überprüft, wonach die Schubbeanspruchung aus der Scheibenwirkung nicht größer sein darf als $0,25 \cdot f_{yb} / \gamma_{M1}$.

$$T_d = \frac{A_d}{a} = \frac{43,6 \text{ kN}}{8 \text{ m}} = 5,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 0,25 \cdot \frac{320}{1,1} \cdot 0,88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 64,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (62)$$

4.9 _ Nachweis der Gesamtverformung des Schubfeldes

Zusätzlich zu den Nachweisen nach DIN 18807 ist es erforderlich, die maximale Verformung auf $L/500$ zu begrenzen. Die Gesamtverformung des Schubfeldes unter Berücksichtigung aller Nachgiebigkeiten wird nach [3] berechnet. Maßgebend für die Berechnung der Verformung sind die Tabelle 5.5, Fall (1) in [3] bzw. die Gleichungen in Spalte 2 in Tabelle 3.2. Es wird die Gesamtverformung für die beiden berechneten Stahltrapezprofile ($t = 0,88$ mm und $t = 1,50$ mm) ermittelt. Die für die Berechnung erforderlichen Parameter sind nachfolgend zusammengestellt:

$$a = 20.000 \text{ mm}$$

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$b = 8.000 \text{ mm}$$

$$K = 0,4617 \text{ ermittelt nach [3], Tabelle 5.6}$$

$$t = 0,88 \text{ mm bzw. } t = 1,50 \text{ mm}$$

$$h = 161,5 \text{ mm}$$

$$\alpha_i = 1 \text{ mit } i = 1 \text{ bis } 4$$

$$\nu = 0,3$$

$$p = 250 \text{ mm} / 2 = 150 \text{ mm (2 Verbindungsmittel je Tiefsicke)}$$

$$s_p = 1/K = 0,40 \text{ mm/kN mit } K = 2/3 \cdot 2 \cdot K_{ser} = 2/3 \cdot 2 \cdot 1,85 \text{ kN/mm} = 2,47 \text{ kN/mm}$$

$$s_s = 0,25 \text{ mm/kN}$$

$$n_{sh} = 20.000 \text{ mm} / 750 \text{ mm} = 27$$

$$n_s = 8.000 \text{ mm} / 250 \text{ mm} = 32$$

$$n_p = 2$$

$$\beta_1 = 1,22 \text{ ermittelt nach [3], Tabelle 5.2 für } n_f = 3 \cdot 2 = 6$$

$$n = 1 \text{ (keine weiteren Längs- oder Lasteinleitungsträger im Schubfeld)}$$

$$s_{sc} = 1/K = 0,40 \text{ mm/kN mit } K = 2/3 \cdot 2 \cdot K_{ser} = 2/3 \cdot 2 \cdot 1,85 \text{ kN/mm} = 2,47 \text{ kN/mm}$$

$$n_{sc} = 8.000 \text{ mm} / 250 \text{ mm} = 32$$

$$E_H = 11.600 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 180 \cdot 1.300 \text{ mm}^2$$

Die Nachgiebigkeit aus der Blechverwölbung des Stahltrapezprofils berechnet sich für $b/d = 32 > 10$ gemäß Tabelle 3.2 zu $c_{1,1}$:

$$c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2} = \frac{20.000 \cdot 250^{2,5} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,4617}{210 \cdot 0,88^{2,5} \cdot 8.000^2} = 0,935 \frac{\text{mm}}{\text{kN}} \text{ für } t = 0,88 \text{ mm} \quad (63)$$

$$c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2} = \frac{20.000 \cdot 250^{2,5} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,4617}{210 \cdot 1,5^{2,5} \cdot 8.000^2} = 0,246 \frac{\text{mm}}{\text{kN}} \text{ für } t = 1,5 \text{ mm} \quad (64)$$

Die Nachgiebigkeit aus der Schubverzerrung der ebenen Querschnittsteile berechnet sich gemäß Tabelle 3.2 zu $c_{1,2}$:

$$c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot \alpha_2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot h}{d}\right)}{E \cdot t \cdot b} = \frac{2 \cdot 20.000 \cdot 1 \cdot (1 + 0,3) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 161,5}{250}\right)}{210 \cdot 0,88 \cdot 8.000} = 0,081 \frac{\text{mm}}{\text{kN}} \text{ für } t = 0,88 \text{ mm} \quad (65)$$

$$c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot \alpha_2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot h}{d}\right)}{E \cdot t \cdot b} = \frac{2 \cdot 20.000 \cdot 1 \cdot (1 + 0,3) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 161,5}{250}\right)}{210 \cdot 1,5 \cdot 8.000} = 0,047 \frac{\text{mm}}{\text{kN}} \text{ für } t = 1,5 \text{ mm} \quad (66)$$

Die Nachgiebigkeit aus den Verbindungsmitteln am Querrand berechnet sich gemäß Tabelle 3.2 zu $c_{2,1}$.

$$c_{2,1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p \cdot \alpha_3}{b^2} = \frac{2 \cdot 20.000 \cdot 0,40 \cdot 125 \cdot 1}{8.000^2} = 0,031 \frac{\text{mm}}{\text{kN}} \quad (67)$$

Die Nachgiebigkeit aus den Verbindungsmitteln im Längsstoß berechnet sich gemäß Tabelle 3.2 zu $c_{2,2}$.

$$c_{2,2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,40 \cdot (27 - 1)}{2 \cdot 32 \cdot 0,40 + 1,22 \cdot 2 \cdot 0,25} = 0,198 \frac{mm}{kN} \quad (68)$$

Die Nachgiebigkeit aus den Verbindungsmitteln am Längsrand berechnet sich für eine 4-seitige Lagerung gemäß Tabelle 3.2 zu $c_{2,3}$. In dem System sind nur die beiden Längsrandträger und keine Zwischenträger vorhanden.

$$c_{2,3} = \frac{4 \cdot (n+1) \cdot s_{sc}}{n^2 \cdot n_{sc}} = \frac{4 \cdot (1+1) \cdot 0,40}{1^2 \cdot 32} = 0,100 \frac{mm}{kN} \quad (69)$$

Die Nachgiebigkeit aus der Dehnung der Querrandträger berechnet sich gemäß Tabelle 3.2 zu c_3 .

$$c_3 = \frac{n^2 \cdot a^3 \cdot \alpha_3}{4,8 \cdot E_H \cdot A \cdot b^2} = \frac{1^2 \cdot 20.000^3 \cdot 1}{4,8 \cdot 11,6 \cdot 180 \cdot 1.300 \cdot 8.000^2} = 0,0096 \frac{mm}{kN} \quad (70)$$

Für das Stahltrapezprofil mit einer Dicke von $t = 0,88$ mm berechnet sich die Gesamtnachgiebigkeit gemäß Tabelle 3.2 zu $c = 1,355$ mm/kN und für das Stahltrapezprofil mit einer Dicke von $t = 1,5$ mm zu $c = 0,633$ mm/kN, wobei den größten Anteil an der Nachgiebigkeit die Blechverwölbung, gefolgt von der Befestigung der Längsstöße, ausmacht. Je mehr nachgiebige Stöße in einem Schubfeld ausgebildet werden, desto weicher wird das System.

Das Schubfeld wurde für die Querkraft $V_d = 43,6$ kN bemessen. Für das Stahltrapezprofil mit einer Dicke von $t = 0,88$ mm berechnet sich die Gesamtverformung aus dem Produkt der Gesamtnachgiebigkeit und der Querkraft zu 59 mm. Dieser Wert ist deutlich größer als die empfohlene Grenzdurchbiegung von $L/500 = 20.000 / 500 = 40$ mm. Die Blechdicke ist für dieses Schubfeld zu gering.

Für das Stahltrapezprofil mit einer Dicke von $t = 1,50$ mm berechnet sich die Gesamtverformung aus dem Produkt der Gesamtnachgiebigkeit und der Querkraft zu 28 mm. Dieser Wert ist geringer als die empfohlene Grenzdurchbiegung von $L/500 = 40$ mm. Das Schubfeld mit einer Blechdicke von $t = 1,50$ mm kann zur Aussteifung der Dachkonstruktion herangezogen werden.

Obwohl beide Blechdicken gemäß DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12 und DIN 18807-3 als Schubfeld ausreichend tragfähig sind, ist das Schubfeld mit der geringeren Blechdicke zu weich. Erst bei der Verwendung der Stahltrapezprofile mit der größeren Blechdicke weist das Schubfeld die nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 geforderte Steifigkeit auf.

5 _ Literatur und Normen

Alle zitierten Normen können über den Beuth-Verlag, Berlin, bezogen werden.

Alle Broschüren des INFORMATIONSDIENST HOLZ können über den Informationsverein Holz, Berlin, bezogen werden.

- [1] DIN EN 1993-1-3:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche
- [2] DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche
- [3] ECCS Publication No. 88 (1995): European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm, http://www.e-konstrukcije.si/user_files/vsebina/Informacije/ER%20for%20Application%20of%20Metal%20Sheeting%20Acting%20as%20Diaphragm.pdf (03.02.2014)
- [4] Schardt, R., Strehl, C.: Theoretische Grundlagen für die Bemessung der Schubsteifigkeit von Trapezblechscheiben – Vergleich mit anderen Berechnungsansätzen und Versuchsergebnissen. Der Stahlbau 45 (1976), S. 97–108
- [5] Schardt, R., Strehl, C.: Stand der Theorie zur Bemessung von Trapezblechscheiben. Der Stahlbau 49 (1980), S. 325–334
- [6] Baehre, R., Wolfram, R.: Zur Schubfeldberechnung von Trapezblechen. Der Stahlbau 55 (1986), S. 175–179
- [7] DIN 18807-3:1987-06, Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung
- [8] DIN 18807-3/A1:2001-05, Trapezprofile im Hochbau – Stahltrapezprofile – Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung; Änderung A1
- [9] IFBS e.V. (Hrsg.): Bemessung von Stahltrapezprofilen für Schubfeldbeanspruchung, Herausgegeben vom IFBS e.V. – Industrieverband für Bausysteme im Metalleichtbau, 5.02 (Oktober 2007)
- [10] 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
- [11] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [12] Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis P-2006-2002, Querschnitts- und Tragfähigkeitswerte für die Wurzer Stahltrapezprofile, gültig bis 30.05.2015
- [13] Europäisch technische Zulassung ETA-10/0200, Befestigungsschrauben für Bauteile und Bleche aus Metall der EJOT Baubefestigungs GmbH, gültig bis 17.08.2015

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.

Heinz-Fangman-Str. 2

D-42287 Wuppertal

02 02/76 97 27 33 fax

info@brettsperrholz.org

www.brettsperrholz.org

www.balkenschichtholz.org

Technische Anfragen an:

Fachberatung Holzbau

Telefon 030 / 57 70 19 95

Montag bis Freitag 9 bis 16 Uhr

Dieser Service ist kostenfrei.

fachberatung@informationsdienst-holz.de

www.informationsdienst-holz.de

Ein Angebot des

Holzbau Deutschland Institut e.V.

in Kooperation mit dem

Informationsverein Holz e.V.