

## **ZUSAMMENFASSUNG**

**zum Bericht Nr.: 081504**

### **Weiterleitung von Horizontallasten durch Trapezprofile**

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik  
Kolonnenstraße 30L  
10829 Berlin

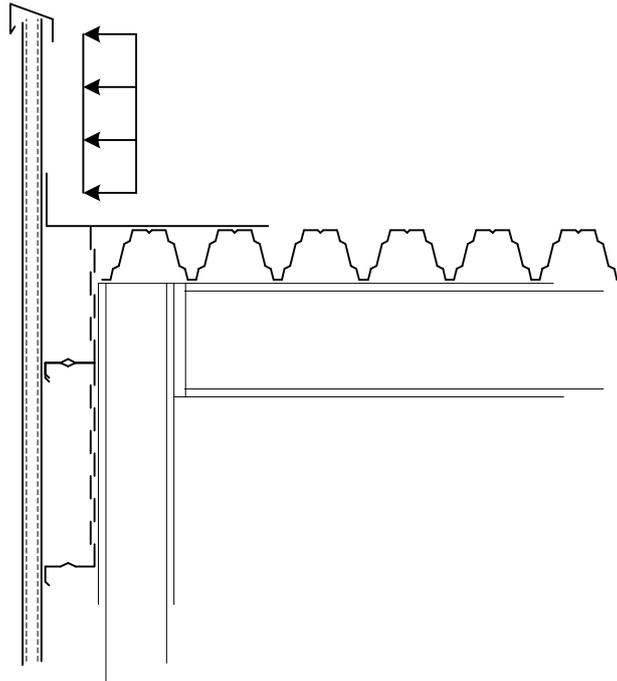
Grundlage: Vertrag vom 15.10.2008

Diese Zusammenfassung des Berichts 081504 umfasst 8 Seiten.

Ausgabedatum: 31.10.2011

## 1 Vorbemerkung

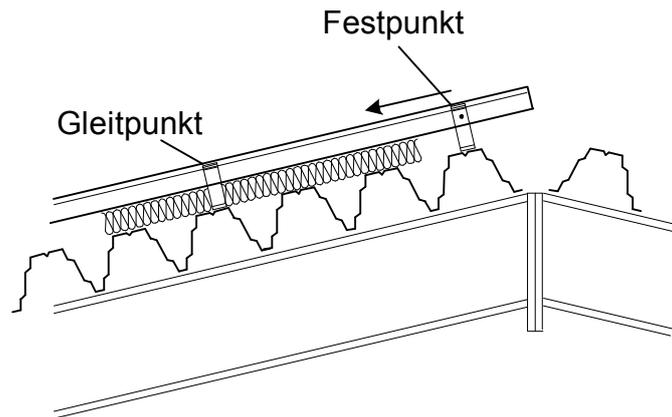
An einer Attika angreifende Windlasten erzeugen erhebliche Auflagerkräfte in der Höhe der Oberkante der Dacheindeckung aus Trapezprofilen. In der Regel ist aber gerade bei Kassettenwänden kein Wandriegel vorgesehen oder der Einbau einer vergleichbaren Auswechslung nicht möglich. Stattdessen bietet es sich an, die Horizontalkräfte durch gekantete Winkel in die Obergurte der angrenzenden Profilrippen einzuleiten.



**Abbildung 1: Attika mit Windbelastung**

Diese werden dadurch quer zur Spannrichtung durch eine Linienlast belastet. Diese Belastung ist mit der in einem Schubfeld vergleichbar, jedoch hat in diesem Fall die Lastabtragung von den Obergurten in die an der Unterkonstruktion befestigten Untergurte der Trapezprofile zu erfolgen, woraus sich eine Verdrehung der Rippen und damit Verschiebungen rechtwinklig zur Dachfläche ergeben. Des Weiteren fehlt die bei Schubfeldern vorausgesetzte umlaufende Befestigung.

Ein vergleichbares Problem ergibt sich beim Dachschub aus der Außenschale zweischaliger Dachkonstruktionen (Fixpunkt am Giebel), z.B. bei der Verwendung von Stehfalzprofilen, bei denen die Außenschale an diskreten Punkten an der Innenschale (Obergurte) befestigt ist. In diesem Fall ergeben sich zusätzliche Querbiegemomente.



**Abbildung 2: Festpunkt bei zweischaligem Dach mit Stehfalzprofileindeckung**

Diese Lasten in der Dachebene führen bei zweischaligen Dachaufbauten zu einer Belastung der innenliegenden Tragschale aus Trapezprofilen und zu einer Beanspruchung dieser Trapezprofile, für die es keinen abgesicherten Berechnungsansatz gibt.

Mit diesem Berechnungsansatz muss die Weiterleitung der Kräfte in die Unterkonstruktion nachgewiesen werden können. Die Belastung durch eine Einzellast sowie durch das damit verbundene Querbiegemoment kann darüber hinaus auch zu einer reduzierten Biegetragfähigkeit der Trapezprofile führen. Dies ist umso kritischer, als dass die betroffenen Trapezprofile und Rippen in den durch die auch auf die Attika wirkenden Windlasten am stärksten betroffenen Bereich liegen.

## 2 Ausgangssituation

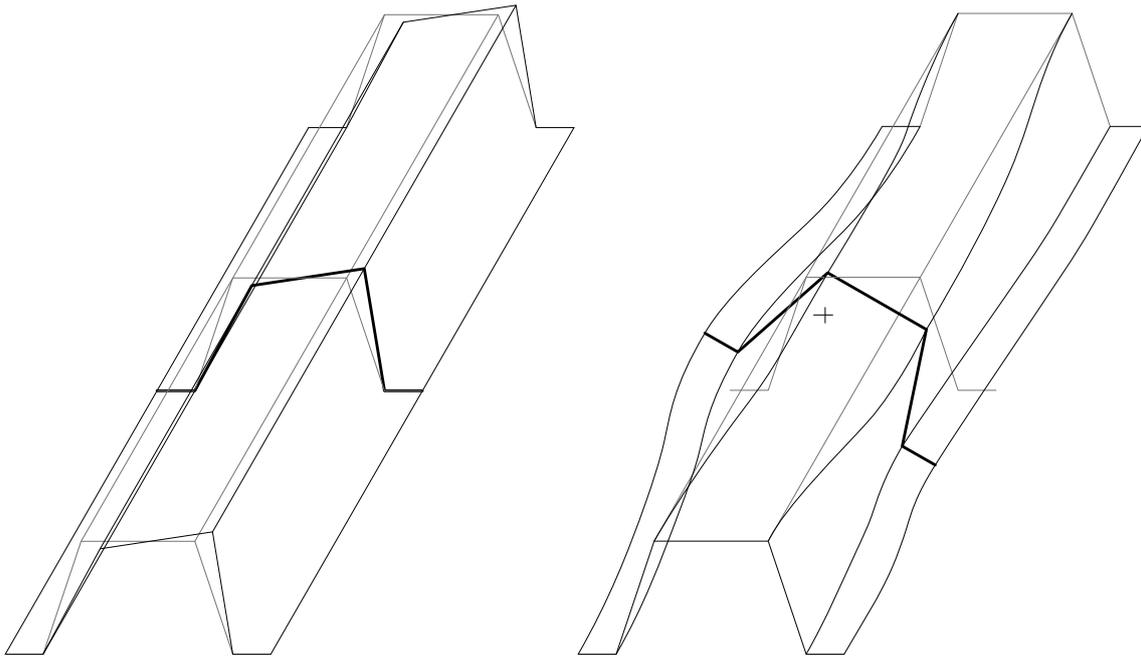
Die Normen der Reihe DIN 18807, aber auch andere Regelwerke, Veröffentlichungen etc. liefern keinen Berechnungsansatz zum Nachweis der Weiterleitung der aus horizontal auf den Längsrand einer Dachfläche einwirkenden Kräften. Die praktische Bemessung orientierte sich daher bisher an den Angaben in der Veröffentlichung [4], wobei allerdings der Anwendungsbeereich oftmals nicht beachtet wird.

- In [4] wird davon ausgegangen, dass die Lasten in ein Schubfeld eingeleitet werden. Dies steht im Widerspruch zur Ausgangssituation, da die Einleitung von Horizontallasten in die Dachfläche aber genau dann erforderlich wird, wenn der Längsrandträger fehlt.
- Gemäß den Zeichnungen aus [4] erfolgt die Lasteinleitung in alle Obergurte, nicht nur in einzelne Rippen.
- In [4] werden Verdrehungen der Rippen sowie die sich daraus ergebenden Verschiebungen rechtwinklig zur Dachfläche vernachlässigt.
- Das unterstellte schnelle Abklingen in Längsrichtung der Spannungen aus Querbiegemomenten steht bei kontinuierlicher Einleitung der Beanspruchung im Widerspruch zu dem verwendeten ebenen Rahmenmodell.

Die Analogie zum Schubfeld ist grundsätzlich fragwürdig, da sich aus dem Abstand zwischen der Einleitung der Beanspruchung (Obergurt oder höher) und den Auflagerkräften ein Moment ergibt. Dieses Moment erzeugt Verschiebungen rechtwinklig zur Dachfläche (z.B. entlang der Mittellinien der Ober- und Untergurte, die Symmetrielinien des periodisch aufgebauten Falterwerks darstellen), die bei Schubfeldern nicht auftreten bzw. in den zugrundeliegenden Modellen explizit zu Null gesetzt werden. Auch erfolgt die Einleitung der Beanspruchung nicht kontinuierlich bzw. stetig in alle Rippen. Vielmehr ergibt sich das Problem der Einleitung von horizontalen Beanspruchungen gerade aus der örtlichen Störung.

### 3 Trag- und Verformungsverhalten bei Lasteinleitung in Obergurtebene

Bei Belastung einer freien, ungekoppelten Randrippe kommt es zu großen Verformungen. Die Finite-Element-Berechnungen zeigen aber, dass maßgebliche Verformungen nur an den beiden äußeren Randrippen auftreten, d.h. nur an der belasteten Randrippe und der direkt anschließenden Rippe. Die Verformungen lassen sich in einen Anteil aus Verschiebung und aus Verdrehung unterteilen, wobei insbesondere die Verdrehungen recht ausgeprägt sind.



**Abbildung 3: Verschiebungen (rechts) und Verdrehungen (links)**

Bei kurzen Stützweiten dominieren die Verschiebungen des durch das Trapezprofil gebildeten Rahmentragwerks (Querbiegung). Mit zunehmender Stützweite nehmen die Anteile aus Torsion (mit elastisch gelagerter Drillachse) zu.

Bei einer biegeweichen Kopplung (z.B. durch Flachblechtafeln) reduzieren sich zwar die Verschiebungen, die Verdrehungen allerdings nicht in vergleichbarem Maße, wie sich insbesondere in den Versuchen zeigte. Zu berücksichtigen ist, dass bei der Kopplung der Rippen durch Flachbleche von einem Ausweichen der Flachbleche auszugehen ist und dass Flachbleche

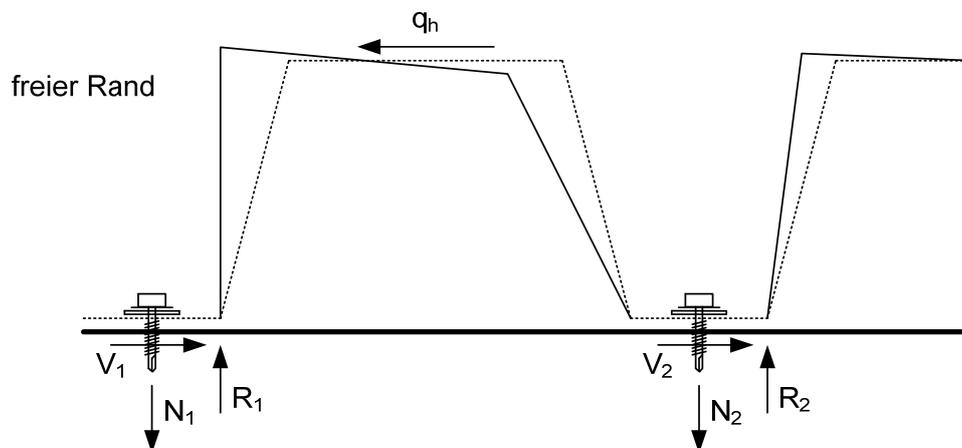
aufgrund der geringen Biegesteifigkeit bei Einleitung von Horizontallasten mit Hebelarmen – wie die Versuche zeigten - wirkungslos sind.

Aus diesem Grund hat die Kopplung durch U- oder L-Profile zu erfolgen, die allerdings den Nachteil hat, dass die freien Schenkel den weiteren Dachaufbau (z.B. das Einbringen der Wärmedämmung) stören. Bei einer Kopplung von sechs oder acht Rippen liegen die Verschiebungen  $u_y$  in vertretbarem Rahmen, wobei sich der „vertretbare Rahmen“ in Anlehnung an DIN 18807-3 wie folgt definieren lässt:

- bei Dächern mit oberseitiger Abdichtung (Warmdach, Folien- oder Bitumendach):  
 $u_y \leq u_{y,max} = L/300$
- bei Dächern mit oberseitiger Deckung (Tragschale eines zweischaligen Daches):  
 $u_y \leq u_{y,max} = L/150$

#### 4 Tragfähigkeit am Auflager

Die Tragfähigkeit am Auflager wird sowohl durch die Tragfähigkeit der druckbeanspruchten Stege (Stegkrüppeln) als auch durch die Verbindungen begrenzt. Auf die Verbindungen wirken dabei sowohl Zug- als auch Querkräfte, d.h. für diese ist ein Interaktionsnachweis erforderlich. Eine weitere Interaktion mit einer Biegebeanspruchung der Trapezprofile ist ggf. zu berücksichtigen.



**Abbildung 4: Definition der Auflagerkräfte und Zählung ausgehend vom freien belasteten Längsrand der Tragschale**

Für die Beschreibung der auf die Verbindungen der einzelnen Rippen mit der Unterkonstruktion einwirkenden Querkräfte wird der dimensionslose Parameter

$$v_i = \frac{V_i}{V} \quad \text{Gl. (1)}$$

für jede Rippe eingeführt.  $V$  ist die gesamte am Auflager des Trapezprofils angreifende Kraft:

$$V = \frac{q_h \cdot L}{2} \quad \text{Gl. (2)}$$

Für die Beschreibung der auf die Verbindungen der einzelnen Rippen mit der Unterkonstruktion einwirkenden Zugkräfte wird der dimensionslose Parameter

$$n_i = \frac{N_i}{V} \quad \text{Gl. (3)}$$

für jede Rippe eingeführt. Für die Druckkräfte in den Stegen wird der dimensionslose Parameter

$$r_i = \frac{R_i}{V} \quad \text{Gl. (4)}$$

für jede Rippe eingeführt. Dabei ist

$$V = \sum V_i = \frac{q \cdot L}{2} \quad \text{Gl. (5)}$$

und

$$\sum R_i = \sum N_i \quad \text{Gl. (6)}$$

Der Index  $i$  bezieht sich dabei auf die vom freien Längsrand aus gezählte Rippe.

Die Verbindungen sind für Beanspruchungen aus Zug- und Querkraft zu bemessen. Bei einer Belastung in Richtung des freien Längsrandes sind diese für Zugbeanspruchungen

$$n_1 = 0 \quad \text{Gl. (7)}$$

und

$$n_2 \dots n_{m+1} = \frac{h}{b_R} \cdot \frac{1}{m-1} \quad \text{Gl. (8)}$$

zu bemessen. Für die entgegengesetzte Belastung in Richtung der Dachfläche gilt

$$n_1 \dots n_m = \frac{h}{b_R} \cdot \frac{1}{m-1} \quad \text{Gl. (9)}$$

und

$$n_{m+1} = 0 \quad \text{Gl. (10)}$$

Unabhängig von der Belastungsrichtung ergibt sich für die Querkraftbeanspruchung des äußeren freien Untergurt

$$v_1 = \frac{0,8}{2 \cdot m} \quad \text{Gl. (11)}$$

und für die Untergurte, die durch die Flachbleche oder U-Profile gekoppelt sind

$$v_2 \dots v_m = \frac{1,2}{m} \quad \text{Gl. (12)}$$

Die Verbindung des direkt an die Kopplungen anschließenden Untergurtes ist für

$$v_{m+1} = \frac{1,2}{2 \cdot m} \quad \text{Gl. (13)}$$

zu bemessen. Da mit zunehmender Stützweite auch nicht gekoppelte Rippen Lasten zum Auflager abtragen, sollte die Befestigung eines weiteren Untergurts für die Aufnahme von Querkraften der Größe

$$v_{m+2} = \frac{0,8}{2 \cdot m} \quad \text{Gl. (14)}$$

nachgewiesen werden.

Die aufgeführten Beanspruchungen sind mit den Beanspruchungen aus Windsog auf die Dachfläche zu überlagern. Ein Interaktionsnachweis ist zu führen.

Die Stege sind für die Auflagerkräfte gegen Stegkrüppeln zu bemessen. Für eine Belastung in Richtung des freien Längsrandes erhält man

$$r_1 \dots r_m = \frac{h}{b_R} \cdot \frac{1}{m-1} \quad \text{Gl. (15)}$$

Für die entgegengesetzte Belastung in Richtung der Dachfläche gilt

$$r_1 = 0 \quad \text{Gl. (16)}$$

und

$$n_2 \dots n_{m+1} = \frac{h}{b_R} \cdot \frac{1}{m-1} \quad \text{Gl. (17)}$$

Die aufgeführten Beanspruchungen sind mit den Beanspruchungen aus Winddruck und Schnee auf die Dachfläche zu überlagern.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden Versuche sowie Berechnungen mit der Methode der Finiten Elemente zur Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens der Trapezprofile bei Einleitung einer Horizontallast durchgeführt.

Die Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Durch die Einleitung der Beanspruchung in den Obergurt ergeben sich sowohl Verschiebungen in Beanspruchungsrichtung (Rahmensystem) als auch rechtwinklig davon. Letztgenannte Verschiebungen resultieren aus der Verdrehung der Rippen. Durch Kopplung der Rippen lassen sich die Verschiebungen und Verdrehungen begrenzen. Um die Verschiebungen auf ein vertretbares Maß zu reduzieren, sind mindestens  $m = 4$  Rippen, bei Folien- oder Bitumendächern mindestens  $m = 6$  Rippen zu koppeln. Eine Ermittlung der auftretenden Verschiebungen über einfache Handrechenmodelle ist aufgrund der komplexen geometrischen Situation und der Vielzahl an konstruktiven Möglichkeiten der Kopplung mit unterschiedlichen Tragmechanismen nicht möglich. Eine Alternative stellen numerische Berechnungsverfahren dar.
- Die Problematik der Verdrehung der Rippen verschärft sich bei Einleitung der Kräfte mit einem Hebelarm, z.B. bei der Einleitung von Dachschub aus der Außenschale. Hier

führt auch die Kopplung von sechs oder mehr Rippen nicht zu vertretbar kleinen Verschiebungen. Vielmehr muss das entstehende Moment durch Vertikalkräfte abgetragen werden. Für die Horizontalkräfte gelten dann die hier zusammengefaßten Ansätze.

- Um auch unter Druckbelastung wirksam zu sein sollte die Kopplung der Rippen biegesteif sein. Flachblechtafeln erfüllen diese Anforderung nicht. U-Profile (z.B. Kantprofile 50/100/3) oder L-Profile (z.B. Kantprofile 50/50/3) sind trotz der Probleme bei der Einbindung in den Dachaufbau vorzuziehen.
- Das Trapezprofil allein ist nicht in der Lage, für eine gleichmäßige Verteilung der Kräfte über die einzelnen angeschlossenen Rippen zu sorgen. Für eine gleichmäßige Verteilung ist eine Kopplung von mindestens  $m = 3$  Rippen erforderlich. Diese Forderung ist durch die o.g. konstruktiven Forderungen bereits erfüllt.
- Die Verbindungen sind für Beanspruchungen aus Zug- und Querkraft zu bemessen.
- Die Stege sind für die Auflagerkräfte gegen Stegkrüppeln zu bemessen.
- Bei Mehrfeldsystemen sind die Auflagerkräfte an den Zwischenauflagern entsprechend dem statischen System eines über mehrere Felder durchlaufenden Biegeträgers zu erhöhen.

Grundsätzlich kann die Einleitung von Horizontallasten am Längsrand von Dachfeldern nicht bedenkenlos allgemein empfohlen werden, da zu befürchten ist, dass der Dachaufbau infolge der Verformungen beschädigt wird und es z.B. direkt hinter der Attika zu Undichtigkeiten kommt. Speziell bei den Anwendungen, bei denen Dachschub aus der Außenschale eingeleitet werden soll, ist zu befürchten, dass infolge der Verformungen der Tragschale die Außenschale beschädigt wird (z.B. Aushebeln von Stehfalzprofilhaltern aus der Verbördelung).

## **6 Schrifttum**

- [1] DIN 18807-1:1987-06: Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Allgemeine Anforderungen, Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Berechnung
- [2] DIN 18807-2: 1987-06: Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Durchführung und Auswertung von Tragfähigkeitsversuchen
- [3] DIN 18807-3: 1987-06: Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung
- [4] Kanning, W.: Scheibenbeanspruchung von Trapezblechen bei Einleitung der Lasten in den Obergurt, rechtwinklig zur Spannrichtung. Mitteilungen IfBt 1982, S.79 – 81.