

Grundlagen zu Stahltrapezprofilen für Dächer und Wände

Überblick zur Anwendung, zur Normungssituation und zur Bemessung von Stahltrapezprofilblechen von Dr.-Ing. Joachim Kretz



Stahltrapezprofile eignen sich entsprechend ihrer Profilgeometrie besonders für eine wirtschaftliche Ausführung von Gebäudeabschlüssen, Gebäudehüllen und Flachtragwerken. Neben der raumabschließenden Wirkung leiten die Profilbleche äußere Einwirkungen, z. B. Wind- und/oder Schneelasten, in die Unterkonstruktion. Eine Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten wird durch verschiedene Profilformen, flexible Tafellängen und attraktive Farben erzielt. Obwohl die Trapezprofile als Leichtbauelemente aus Metall vergleichsweise einfach und mit geringem Aufwand montiert werden können, sind für die richtige Anwendung besondere Kenntnisse erforderlich.

Die Grundnorm für die Nachweisführung und Bemessung der Stahltrapezprofile stellt die DIN 18 807 mit den Teilen 1 bis 3 dar. Diese Norm basiert jedoch noch auf dem globalen Sicherheitskonzept. Über die Anpassungsrichtlinie [4, 5] werden die Teile der DIN 18 807 an die neue Normengeneration nach dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept angepasst.

Dieser Artikel widmet sich der Nachweisführung und Bemessung von Trapezprofilblechen auf der Grundlage der national gültigen Normen. Kassettenprofile und Sandwichelemente sind nicht Gegenstand der Betrachtung.

1. Einführung

1.1 Allgemeines

Die Trapezprofilblech-Bauelemente aus korrosionsgeschütztem Stahlblech sind durch eine hohe Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht gekennzeichnet. Durch niedrige Montagekosten infolge der hohen Vorfertigung und den flexiblen Einsatzmöglichkeiten dieser Bauelemente wird u. a. ein wirtschaftliches Bauen ermöglicht, so dass sich der Anwendungsbereich auf Gewerbebauten, Supermärkte, Messe-, Sport- und Lagerhallen, Hochregallager, Verwaltungsbauten und andere Sondergebäude erweitert hat.

Bei Wirtschaftsbauten (Lagerhallen, Industriehallen, Großmärkte) sowie bei Gesellschaftsbauten (Ausstellungshallen, Sporthallen) bestehen zwischenzeitlich ca. 60% bis 70% der raumabschließenden Bauteile aus kaltprofilierten Tafeln kleiner Breite und großer Länge.



Bild 1. a) Turnhalle sowie b) Lagerhalle mit Stahltrapezprofilen als Dachdeckung [Foto: Hoesch]

1.2 Dach- und Wandaufbau mit Trapezprofilen

Mit kleineren Bauhöhen finden Trapezprofile aus Stahl oder Aluminium zunächst Anwendung als einschalige Dachdeckung, die auf einer Pfettenlage als tragender Unterkonstruktion verlegt wird (siehe Bild 2).

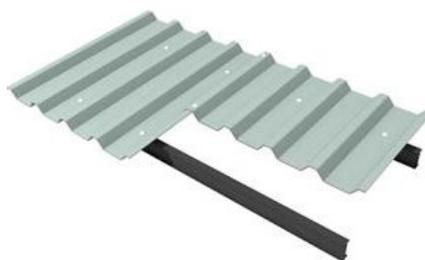


Bild 2. Einschalige Dachdeckung mit Trapezprofilblechen

Aufgrund der fehlenden Wärmedämmung kann es bei Witterungsänderungen an der Profilblechunterkante gelegentlich zur Kondensatbildung kommen. Um das unerwünschte Abtropfen von Kondensat zu verhindern, können die Trapezprofile unterseitig mit einer Kondensatspeicher-Beschichtung oder -Kaschierung (z. B. Vlies) versehen werden.

Auch in der Wand können für unbeheizte Gebäude Trapezprofile als einschalige Wandkonstruktion eingesetzt werden. In Abhängigkeit des Abstandes der Stützen bei horizontaler oder der Wandriegel bei vertikaler Verlegung der Wandelemente, finden auch Trapezprofile größerer Bauhöhen Verwendung.



Bild 3. Halle mit Dach- und Wandaufbau aus Trapezprofilen [Foto: Hoesch]

1.3 Werkstoffe und Herstellung der Trapezprofile

Trapezprofile werden aus Stahlblech, das für die Kaltverformung geeignet ist, hergestellt. Die Streckgrenzen der üblichen Stahlbleche liegen zwischen 280 N/mm² bis 350 N/mm². Die maßgeblichen Materialkennwerte stellen der Elastizitätsmodul (210.000 N/mm²), die Streckgrenze $f_{y,k}$ und der Wärmeausdehnungskoeffizient ($\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5} 1/K$) dar.

Ausgangsprodukte der Profilbleche sind meist Stahlbänder in Dicken von ca. 0,4 mm bis ca. 3 mm, die in Breiten von ca. 600 mm bis ca. 1500 mm, auf Coils aufgerollt (siehe Bild 4), geliefert werden. Als Korrosionsschutz werden je nach Anforderung unterschiedliche Systeme angeboten. Grundlage ist in der Regel eine dünne Bandverzinkung, die mit zusätzlichen Beschichtungen versehen ist.



Bild 4. Lagerhalle mit auf Coils aufgerollten Stahlblechen
[Foto: Hoesch]

Aus den Stahlbändern mit metallischem Überzug mit oder ohne zusätzliche Beschichtung werden die Stahltrapezprofil-Tafeln in kontinuierlich arbeitenden Rollformanlagen (Kaltwalzstraßen) hergestellt.

In den Rollformanlagen sind verschiedene Verformungssituationen in Form von Walzen oder einzelnen Scheiben hintereinander angeordnet. Beim Anlagendurchlauf werden die flachen Tafeln in bis zu 32 Doppelwalzensätzen von Walzenpaar zu Walzenpaar bis zur endgültigen Form fortlaufend stärker profiliert.



Bild 5. Profilierung der Bleche in einer Rollformanlage

Um die organische Beschichtung während des Rollformens nicht zu beschädigen, stattdessen man die Oberfläche der Walzen mit einer glatten Verchromung aus. Zusätzlich werden leichtflüchtige Schmiermittel beim Profilieren eingesetzt.

Die gewünschte Länge der Profiltafel wird entweder durch den Zuschnitt des Flachbleches vor dem Rollen oder durch das profolfolgende Abschneiden der fertigen Profiltafel erzeugt.

Das von den verschiedenen Herstellern angebotene Profilprogramm umfasst viele Profilformen in Baubreiten von ca. 500 mm bis ca. 1100 mm und Profilhöhen von ca. 30 mm bis ca. 220 mm. Die maximalen Herstelllängen liegen bei den hochtragfähigen Dachprofilen bei etwa 25 m.

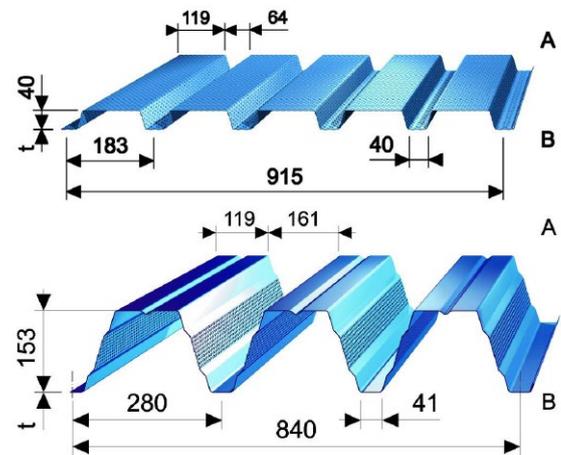


Bild 6. Beispiele für Trapezprofile unterschiedlicher Höhe und Profilierung [Profilauszug der Fa. Hoesch]

Die Querschnittsform der Trapezprofile besteht aus einer Reihe von Trapezen mit abwechselnd einer geschlossenen und einer offenen Grundlinie. Die kleineren Profile besitzen wegen der geringen Querschnittshöhe eine geringe Tragfähigkeit und finden deshalb Verwendung für die Verlegung bei Pfettendächern vom First zur Traufe oder für die Verlegung bei Außenwänden.



Bild 7. Trapezprofile mit Spannweiten von Pfette zu Pfette
[Foto: Hoesch]

Trapezprofile mit großer Tragfähigkeit, d. h. mit großer Profilhöhe, besitzen im Prinzip die gleiche Querschnittsform wie die niedrigeren Profilquerschnitte. Da aber die ebenen Teilflächen unter Druckbeanspruchungen beulgefährdet sind, werden diese mit einprofilierten Versteifungen versehen. In den breiten Obergurten werden ein bis drei Längssicken und in die Stege ein bis drei Versätze einprofiliert. Solche Profile erreichen bei geringer Belastung und in Abhängigkeit von der Blechdicke (zwischen 0,75 mm und 1,50 mm) Stützweiten zwischen 7,50 m und 10,0 m. Bei diesen Stützweiten spannen die Profilbleche von Binder zu Binder unter Einsparung der Pfetten.

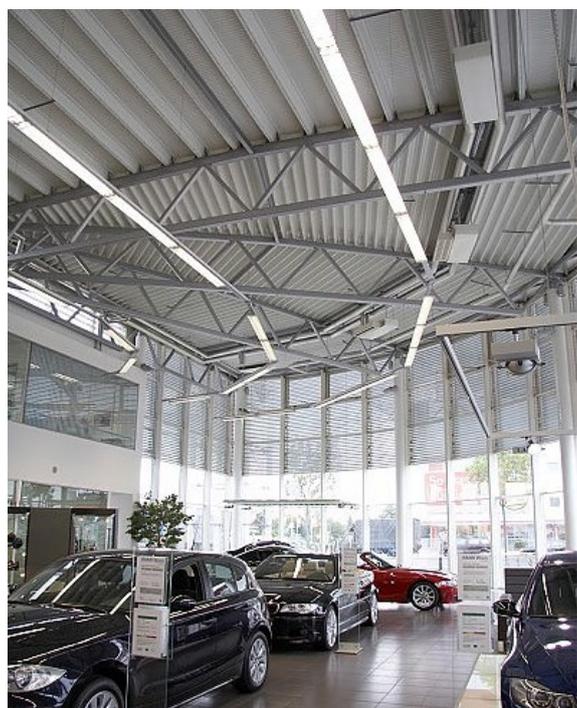


Bild 8. Trapezprofile mit großer Spannweite von Binder zu Binder [Foto: Hoesch]

Das Hoesch Dachsystem 2000 überbrückt große Stützweiten unter Nutzung von Auflagerstützelementen.



Bild 9. Prinzipdarstellung eines hohen Trapezprofilquerschnitts mit Auflagerstützelementen

Ergänzend zu den o. g. Stahlsorten kommen auch Edelstahl- oder Aluminiumbleche zur Anwendung, für die aber besondere Regelungen gelten.

Bei den Edelstählen ist gegenüber den o. g. Stählen der etwas geringere E-Modul von ca. 190.000 N/mm² bis ca. 200.000 N/mm² und der größere Wärmeausdehnungskoeffizient ($\alpha_T = 1,6 \cdot 10^{-5} 1/K$) zu beachten.

Für Aluminium ist besonders der wesentlich geringere Elastizitätsmodul von ca. 70.000 N/mm² und der deutlich höhere Wärmeausdehnungskoeffizient ($\alpha_T = 2,3 \cdot 10^{-5} 1/K$) zu beachten.

Die Anwendung der Stahltrapezprofil-Tafeln (STP-Tafeln) ist auf Konstruktionen mit vorwiegend ruhenden Belastungen beschränkt. Dabei werden die nachfolgend aufgeführten Tragwirkungen der STP-Tafeln bei Dächern und Wänden genutzt:

- Zug- und Druckkräfte können von STP-Tafeln zur Stabilisierung der Obergurte von Fachwerkträgern weitergeleitet werden
- STP-Tafeln können die Wirkung von schubsteifen Flächentragwerken ermöglichen. Das so genannte Schubfeld übernimmt dann die Funktion eines Fachwerk-Windverbandes.

Die weiteren Betrachtungen beschränken sich auf den Einsatz von bandverzinkten Stahlbändern.

1.4 Baurechtliche Situation

Die aktuelle baurechtliche Situation zur Anwendung von Stahlprofiltafeln für Dächer und Wände ist in [12] ausführlich beschrieben. Dieser Artikel erläutert kurz die baurechtliche Situation für Trapezprofile.

Die derzeitige baurechtliche Situation ist infolge der vielen Änderungen und Anpassungen von einerseits der Nachweisphilosophie (von globalen Sicherheitskonzepten auf Nachweisconzepte mit Teilsicherheitsbeiwerten) und andererseits durch die fortlaufende Normenanpassung etwas unübersichtlich.

Ergänzend zu den eigentlichen Normen für Trapezprofile sind zumeist Anpassungsrichtlinien oder auch parallel gültige Regelwerke zu beachten. Auch sind Sonderregelungen und Hinweise in den jeweiligen Landesbauordnungen und/oder Listen der Technischen Baubestimmungen (LTB) der Bundesländer zu beachten.

Nach den Landesbauordnungen (LBOs) können Bauprodukte bzw. Bauarten verwendet werden, wenn sie aufgrund einer allgemein bekannt gemachten technischen Regel (z. B. DIN-Norm), einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bzw. Prüfzeugnis oder einer Zustimmung im Einzelfall das Ü-Zeichen tragen.

Welche Art des Verwendbarkeitsnachweises erforderlich ist, kann der Bauregelliste A [12] entnommen werden. Alternativ kann die Verwendbarkeit über eine Konformitätserklärung mit einem CE-Zeichen nach der Bauregelliste B [12] erfolgen, wenn das Bauprodukt oder die Bauart auf der Grundlage einer europäischen Norm (EN bzw. DIN EN) oder einer Europäisch Technischen Zulassung (ETA) beruht.

Die Trapezprofile aus Stahl werden in der Bauregelliste A [12], Teil 1, Abschnitt 4 „Bauprodukte für den Metallbau“, aufgeführt. Demnach ist in erster Linie die Norm DIN 18 807 [1,2,3] anzuwenden. Zusätzlich gilt nach Bauregelliste B [12], Teil 1, die DIN EN 14782 [13].

DIN 18 807-1 [1] bis 18 807-3 [3] „Trapezprofile im Hochbau: Stahltrapezprofile“ wurde durch die Anpassungsrichtlinie Stahlbau [4] von 1998 und deren Änderung und Ergänzung vom Dezember 2001 [5] auf das semiprobabilistische Sicherheitskonzept, d. h. dem Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten, umgestellt.

Demnach gilt das in der Stahlbaugrundnorm DIN 18 800-1 [6], Abschnitt 7 ff. dargestellte Nachweiskonzept. Dabei dürfen nach der MLTB, Anlage 1.1/4 alternativ auch die Kombinationsregeln nach der Einwirkungsnorm DIN 1055-100 [8] angewendet werden.

Das Europäische Komitee für Normung (CEN) hat Ende 2005 die Trapezprofilnorm EN 14782 verabschiedet. Die deutsche Fassung DIN EN 14782 [13] Selbsttragende Dachdeckungs- und Wandbekleidungs-elemente für die Innen- und Außenanwendung aus Metallblech – Produktspezifikation und Anforderungen ist am 08.06.2006 in den Mitteilungen der europäischen Kommission veröffentlicht worden. Diese regelt neben den Stahltrapezprofilen auch solche aus anderen metallischen Werkstoffen, wie Edelstähle, Aluminium oder Kupfer.

In Zukunft werden die Regelungen zur Bemessung und Tragfähigkeitsermittlung von dünnwandigen Bauteilen durch den Eurocode 3, der DIN EN 1993-1-3 [14], ersetzt werden.

2. Tragverhalten und Bemessungskonzepte

Die hier betrachteten dünnwandigen Bauelemente aus profilierten Blechen weisen in ihrem Tragverhalten gegenüber der herkömmlichen Stab- und Schalenstatik viele Besonderheiten auf. Bei Trapezprofilblechen handelt es sich zwar um Flächenelemente, die Schnittgrößenermittlung für Biegung erfolgt jedoch für die in Spannrichtung profilierten Profile als einachsiger Balken. Der Grund für die einachsige Nachweisführung ist die sehr geringe Quersteifigkeit dieser Bauelemente. Die technische Biegelehre nach Bernoulli ist für diese Bauelemente wegen der Dünnwandigkeit der Profile nicht anwendbar.

In Abhängigkeit der konstruktiven Ausführung können die ebenen Bauelemente auch als Scheibe wirken, wobei Normalkräfte nur in Profilrichtung durchgeleitet werden können. Durch die Ausbildung eines Schubfeldes werden Schubkräfte in der Bauteilebene von Randträger zu Randträger weitergeleitet. Zur Aussteifung von Gebäuden und zur Stabilisierung von Bauteilen kann diese Eigenschaft herangezogen werden.

2.1 Grundlagen und Vorschriften

2.1.1 Grundlagen

Infolge der geringen Blechdicken hängt die Tragfähigkeit der Stahltrapezprofile nicht nur von der Druckspannung, sondern auch vom Beulverhalten der auf Druck beanspruchten Querschnittsteile ab. Um aber die Trapezprofile wirtschaftlich einsetzen zu können, muss beim Tragsicherheitsnachweis der Zustand des lokalen elastischen Beulens in ebenen Teilflächen ausgenutzt werden.

Durch die Profilierung der Bleche (Längssicken und Versätze) tritt das Ausweichen der ebenen Teilflächen unter Druckbeanspruchung möglichst spät auf. In Bild 10a) ist die Spannungsverteilung unter Berücksichtigung des Zustandes des elastischen Beulens dargestellt. Das Versagen des Querschnitts tritt ein, wenn in den Profillecken die Fließspannung erreicht wird. Die Teilbilder 10b) und 10c) zeigen Rechenmodelle, die mit konstanter Spannung und mitwirkenden Breiten arbeiten. Da die Längssteifen ausknicken können, wird für sie mit reduzierter Spannung oder reduzierter Dicke t_{red} (geringere Querschnittsfläche) gerechnet.

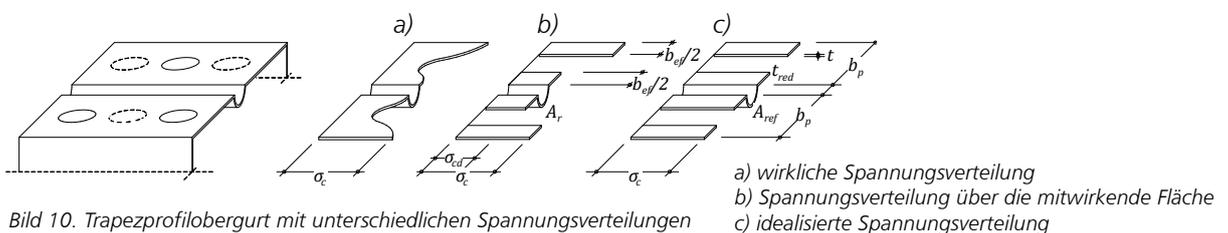


Bild 10. Trapezprofilobergurt mit unterschiedlichen Spannungsverteilungen

Wegen des unterschiedlichen Spannungsverlaufes sind die mitwirkenden Breiten für die Beanspruchungen aus Biegung und Normalkraft verschieden. Ebenso ist der Widerstand gegen Biegung - bei in der Regel unsymmetrischen Profilen - vom Vorzeichen der Biegemomente abhängig. Die Widerstandsgrößen werden als charakteristische Schnittgrößen von den Herstellern der Stahltrapezprofile in amtlich geprüften Typenblättern veröffentlicht. Bild 11 zeigt zwei Beispiele für rechnerische Spannungsverteilungen in Trapezprofilblechen (Anmerkung: die hier angegebene Streckgrenze β_s entspricht dem Wert $f_{y,k}$ nach aktueller Normung).

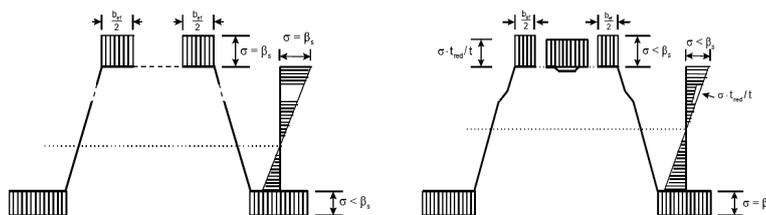


Bild 11. Rechnerische Spannungsverteilungen in Profilblechen

Der Nachweis der Tragfähigkeit kann entweder durch eine rechnerische Ermittlung der charakteristischen Widerstandsgrößen mit Hilfe des theoretischen Modells der mitwirkenden Breiten nach DIN 18 807-1 [1] erfolgen oder durch Tragfähigkeitsversuche an Originalbauteilen auf der Grundlage der DIN 18 807-2 [2]. Für die endgültige Ausschöpfung aller Traglastreserven sind Traglastversuche an den Originalbauteilen üblich.

Bei der Bemessung spielt die Interaktion von Biegemoment und Auflagerkraft an Zwischenstützen von Durchlaufträgern oder bei Kragarmen eine entscheidende Rolle. Die Widerstandsgrößen sind bei Auflagerdruck von der Auflagerbreite und bei Zugkräften von der Befestigungsart abhängig. Es entstehen also in Abhängigkeit von der Lage der Profile, der Belastungsrichtung und der Auflagerausbildung viele unterschiedliche Bedingungen, die bei den Nachweisen genau zu berücksichtigen sind.

Beim Tragsicherheitsnachweis von Durchlaufträgern weist das Stützmoment an den Zwischenstützen noch eine weitere Besonderheit auf. Das starke Absinken des Stützmomentes durch plastisches Beulen des dünnwandigen Querschnittes bis zum so genannten Reststützmoment bedingt eine stärkere Momentenumlagerung als beim Ansatz des vollplastischen Momentes. Wegen der z. Z. noch fehlenden Kenntnisse zur Durchleitung der Normalkräfte in diesem Zustand, muss dann der Tragfähigkeitsnachweis Elastisch-Elastisch mit der in DIN 18 807-1 [1] angegebenen Interaktion für Biegemoment, Auflagerkraft und Normalkraft geführt werden.

Werden mit Trapezprofilen Schubfelder ausgebildet und diese rechnerisch bei der Gebäudeaussteifung berücksichtigt, tragen sie wesentlich zur Tragsicherheit von Gebäuden bei.

2.1.2 Bemessungskonzepte

2.1.2.1 Bemessungskonzept nach DIN 18 807

Stahltrapezprofile werden auf der Basis der DIN 18 807 [1,2,3] Trapezprofile im Hochbau, Stahltrapezprofile, nachgewiesen. Die Teile 1 bis 3 der DIN 18 807, die 1987 erschienen, wurden 1990 als technische Baubestimmungen bauaufsichtlich eingeführt. Die Teile 6 bis 9 der DIN 18 807 regeln Konstruktionen aus Aluminiumtrapezprofilen.

Im Teil 3 der DIN 18 807 [3] werden allgemeine Nachweise der Gebrauchs- und Tragsicherheit gefordert. Deutlich unterschieden wird zwischen den beiden Nachweisen aber nur für den Fall der Biegung.

Nach DIN 18 807-3 [3] ist beim Bemessungskonzept zwischen Biegung und Normalkraft einerseits und der Schubfeldwirkung andererseits zu unterscheiden. Die Nachweise für Biegung und Normalkraft werden, wie in DIN 18 800 [6], mit γ -fachen Einwirkungsgrößen geführt, während der Schubfeldnachweis mit 1,0-fachen Lasten zu führen ist. Da die DIN 18 807 noch nach der „alten Normengeneration“ mit einem globalen Sicherheitskonzept arbeitet, gibt es nur je einen globalen Sicherheitsbeiwert für die Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit.

Das Nachweisformat für Biegung lautet:

$$\gamma \cdot S_k \leq R_d \quad (1)$$

mit

$$\begin{aligned} \gamma &= 1,7 && \text{für Tragsicherheit} \\ \gamma &= 1,3 && \text{für Gebrauchstauglichkeit} \end{aligned}$$

S_k steht dabei für die Summe der charakteristischen Einwirkungen und R_d für die nach DIN 18 807 ermittelten aufnehmbaren Widerstandsgrößen, die für die einzelnen Profile in amtlich geprüften Tabellen zusammengestellt sind. Im Grunde sind die Widerstandsgrößen aber charakteristische Werte und müssen für Nachweise mit dem Index „k“ gekennzeichnet werden.

Nach DIN 18 807 [3] darf der Nachweis der Tragsicherheit sowohl nach dem Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch als auch Plastisch-Plastisch geführt werden. Im Falle einer Nachweisführung Plastisch-Plastisch (P-P) ist zusätzlich ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis Elastisch-Elastisch (E-E) erforderlich.

Sofern die Reststützmomente der Trapezprofile in Ansatz gebracht werden, ist die Bemessung mit dem Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch (P-P) vergleichbar.

In jedem Fall müssen bei Anwendung des Verfahrens P-P Durchbiegungsbeschränkungen nach der Elastizitätstheorie eingehalten werden.

Für Normalkraftbeanspruchungen ist der Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch mit $\gamma = 1,7$ zu führen. Dies gilt ebenfalls für die Interaktion Biegung mit Normalkraft.

Das Deutsche Institut für Stahlbau hat in seinen Mitteilungen, Sonderheft 11 „Anpassungsrichtlinie Stahlbau“ [4] Punkt 4.13 darauf hingewiesen, dass auch Konstruktionen aus Stahltrapezprofilen (STP) ab Januar 1996 nach dem Sicherheits- und Bemessungskonzept der DIN 18 800 zu bemessen sind.

2.1.2.2 Bemessungskonzept der Anpassungsrichtlinie

Auf der Grundlage der Anpassungsrichtlinie wird für die statische Berechnung der Stahltrapezprofile festgelegt, dass die Nachweise nach DIN 18800-1 Abschnitt 7 [6] zu führen sind, also in der Form mit Teilsicherheitsbeiwerten.

$$\gamma_F \cdot S_k \leq R_k / \gamma_M \quad (2)$$

In der Anpassungsrichtlinie werden die Teilsicherheitsbeiwerte γ wie folgt festgelegt:

- für die Tragsicherheitsnachweise

Nachweise für *Biegung* und Normalkraft (3)

- $\gamma_{FG} = 1,35$ für ständige Einwirkungen
- $\gamma_{FG} = 1,00$ für ständige Einwirkungen, die Beanspruchungen verringern
- $\gamma_{FQ} = 1,50$ für veränderliche Einwirkungen
- $\gamma_M = 1,10$ für alle Widerstandsgrößen, die mit einer Kraftdefinition behaftet sind

Diese Werte sind in Übereinstimmung mit DIN 18 800-1, Abschnitt 7, gewählt.

- für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise

Nachweise für *Biegung*, nur im Anschluss an den Tragsicherheitsnachweis Plastisch-Plastisch: (4)

- $\gamma_{FG} = 1,00$ für ständige Einwirkungen
- $\gamma_{FQ} = 1,15$ für veränderliche Einwirkungen
- $\gamma_M = 1,10$ für alle Widerstandsgrößen, die mit einer Kraftdefinition behaftet sind

Nachweis der *Durchbiegungsbeschränkung* (5)

- $\gamma_F = 1,00$ für alle Einwirkungen
- $\gamma_M = 1,00$ für die Biegesteifigkeit

Nachweise der *Schubflüsse* bei Trapezprofilen (6)

- $\gamma_F = 1,00$ für alle Einwirkungen
- $\gamma_M = 1,00$ für die zulässigen Schubflüsse

Grundsätzlich wird also der globale Sicherheitsfaktor γ nach DIN 18 807 in Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und γ_M aufgespalten und damit eine Anpassung an DIN 18 800 erreicht.

In Tabelle 1 sind die Teilsicherheitsbeiwerte für Trapezprofile zusammengestellt.

Die Anwendung der o. g. Teilsicherheitsbeiwerte der Nachweise für Biegung und Normalkraft fordert, dass die Widerstandsgrößen charakteristische Werte im Sinne der DIN 18 800 sind. Die aufnehmbaren Tragfähigkeitswerte nach DIN 18 807 müssen demnach mit „k“ gekennzeichnet werden und zwar auch diejenigen, bei denen in der Norm das „d“ fehlt. Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der Formelzeichen für charakteristische Widerstandsgrößen, deren Kennzeichnung nach DIN 18 807 und der Anpassungsrichtlinie [4, 5] unterschiedlich sind.

Nachweise	Einwirkungen		Widerstände	Vergleiche
	ständige	veränderliche		
$\gamma_{FG} \cdot G_k + \gamma_{FQ} \cdot Q_k \leq R_k / \gamma_M$	γ_{FG}	γ_{FQ}	γ_M	max. $(\gamma_F \cdot \gamma_M) \leq \gamma_{all}$
Tragsicherheit (z. B. Schnee)	1,35	1,5	1,1	1,65 < 1,7
Tragsicherheit (z. B. Windsog)	(-) 1,0	1,5	1,1	
Gebrauchstauglichkeit	1,0	1,15	1,1	1,265 < 1,3
Durchbiegung	1,0	1,0	1,0	1,0 = 1,0
Schubfeld	1,0	1,0	1,0	1,0 = 1,0

Tabelle 1: Allgemeines Nachweisformat und Teilsicherheitsbeiwerte für Trapezprofile

DIN 18 807 Text	DIN 18 807 Typenblätter	Anpassungsrichtlinie	Widerstandsgrößen
M_{df}	M_{df}	M_{fk}	Feldmoment
R_A	R_{AT}	R_{ATk}	Endauflagerkraft (Tragsicherheit)
R_A	R_{AG}	R_{AGk}	Endauflagerkraft (Gebrauchstauglichkeit)
M_{d1}, M_{d2}^0	M_{d1}^0	M_{dk}^0	querkraftfreies Stützmoment
R_{d1}, R_{d2}^0	-	R_{dk}^0	momentfreie Zwischenaflagerkraft
C	C	C_k	Interaktionsparameter
max. M_B	max. M_B	max. M_{Bk}	maximales Stützmoment
max. R_B	max. R_B	max. R_{Bk}	maximale Zwischenaflagerkraft
M_R	M_R	M_{Rk}	Reststützmoment
max. M_R	max. M_R	max. M_{Rk}	maximales Reststützmoment
V_d	-	V_k	Querkraft
N_{dD}	-	N_{dk}	Druckkraft
N_{dZ}	-	N_{zk}	Zugkraft

Tabelle 2: Formelzeichen für Widerstandsgrößen, die nach der Anpassungsrichtlinie geändert werden müssen



2.1.2.3 Bemessungskonzept nach DIN 18 800-1 und DIN 1055-100

Das Bemessungskonzept nach DIN 18 800-1 [6] wird hier nur insoweit erläutert, wie es für die Bemessung von Stahltrapezprofilen von Bedeutung ist.

Die Forderung

$$S_d \leq R_d \quad (7)$$

nach der die Beanspruchungen S_d die Beanspruchbarkeiten R_d nicht überschreiten dürfen, gilt ebenfalls in DIN 18 807. Der entscheidende Unterschied in DIN 18 800 liegt in den Teilsicherheitsbeiwerten, die es nach DIN 18807 nicht gibt. In DIN 18 807 existiert auf der Einwirkungsseite nur der globale Sicherheitsbeiwert γ .

Als charakteristische Werte der Einwirkungen F_k gelten die Werte der einschlägigen Normen über Lastannahmen, hier hauptsächlich DIN 1055 [8]. Die Bemessungswerte F_d der Einwirkungen sind die mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_F und ggf. mit einem Kombinationsbeiwert ψ multiplizierten charakteristischen Werte F_k der Einwirkungen:

$$F_d = \gamma_F \cdot \psi \cdot F_k \quad (8)$$

DIN 18 800 legt für die Tragsicherheitsnachweise die Teilsicherheitsbeiwerte fest:

- $\gamma_F = 1,35$ für ständige Einwirkungen
- $\gamma_F = 1,00$ für ständige Einwirkungen,
die Beanspruchungen verringern
- $\gamma_F = 1,50$ für veränderliche Einwirkungen

Dabei unterscheidet DIN 18 800 zwischen Hauptkombinationen und außergewöhnlichen Kombinationen. Für die Hauptkombinationen mit mindestens zwei veränderlichen Einwirkungen lässt die Norm vereinfachend den Kombinationsbeiwert $\psi_i = 0,9$ zu, weist aber auch auf die zuständigen Fachnormen hin.

Die Einwirkungskombinationen aus den Bemessungswerten der unabhängigen ständigen (G_k), veränderlichen (Q_k) und außergewöhnlichen (A_k) Einwirkungen ergeben mit den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten die Bemessungswerte der Beanspruchungen (S_d).

Auf der Widerstandsseite ermitteln sich die Bemessungswerte M_d aus den charakteristischen Größen M_k durch Division mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M .

$$M_d = M_k / \gamma_M \quad (9)$$

Für den Tragsicherheitsnachweis bestimmt DIN 18 800 [6] den Teilsicherheitsbeiwert allgemein mit $\gamma_M = 1,1$, wenn in mitgeltenden Fachnormen nichts anderes festgelegt ist.



Trapezprofildach mit Unterkonstruktion Holzträger
[Foto: Hoesch]

2.2 Einwirkungen

Allgemeines

Die Leichtbauteile Trapezprofile dürfen nur durch vorwiegend ruhende veränderliche Belastungen beansprucht werden. Über die Anpassungsrichtlinie [4, 5] sind neben den Bestimmungen der DIN 18 807-3 [3] über Lastannahmen auch diejenigen von DIN 18 800-1 [6] über Einwirkungen für Trapezprofile zu beachten. Außerdem ist DIN 1055 [8] mit den Teilen 1, 3, 4, 5, 7, 9 und 100 zu beachten, wenn die vorgenannten Fachnormen keine abweichenden Bestimmungen enthalten.

Im Rahmen dieses Artikels werden die einzelnen Einwirkungen nicht näher beschrieben, sondern auf die jeweiligen Fachnormen verwiesen. Lediglich Besonderheiten der Einwirkungen für Trapezprofile werden kurz erläutert.

Ständige Einwirkungen

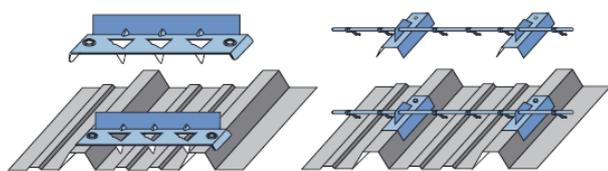
Die Eigenlasten der Trapezprofile sowie die Eigenlasten des weiteren Dachaufbaus sind ständige Lasten für Flachdächer nach DIN 1055 [8] Teil 1 und 3. Zu empfehlen sind jedoch Zuschläge für evtl. Kiesschüttungen auf dem Dach und abgehängte Installationen unter dem Dach.

Windlasten

Die Ermittlung der veränderlichen Einwirkungen aus Wind sind auf der Grundlage der DIN 1055-4 [8] durchzuführen. Nähere Bestimmungen sind dieser Norm zu entnehmen.

Schnee- und Eislasten

Die Ermittlung der veränderlichen Einwirkungen aus Schnee- und Eislasten sind auf der Grundlage der DIN 1055-5 [8] durchzuführen. Nähere Bestimmungen sind dieser Norm zu entnehmen.



Schneefänger [Foto ARCELOR]

Wasseransammlung

In bestimmten Fällen ist die Einwirkung „Wassersack“ nach DIN 18 807-3 [3] bei der Bemessung der Trapezprofile zu berücksichtigen.

Kiesschüttungen und abgehängte Installationen

Einwirkungen aus Kiesschüttung und/oder abgehängten Installationen stellen eine Besonderheit bezüglich der Belastung dar. Gemäß DIN 1055-3 [8] sind Kies- und Bodenschüttungen auf Dächern und Decken veränderliche Einwirkungen. Sie werden nicht mit dem Lasterhöhungsfaktor γ_G für ständige Einwirkungen, sondern mit dem Lasterhöhungsfaktor γ_Q für veränderliche Einwirkungen angesetzt. Hinsichtlich der Kombination mit anderen veränderlichen Einwirkungen (Schnee, Wind) sind sie jedoch als quasi-ständige Einwirkungen zu betrachten und deshalb voll (wenn belastend) bzw. nicht (wenn entlastend) zu berücksichtigen.

In Kombination mit anderen veränderlichen Einwirkungen ist der Ansatz als vorherrschende veränderliche Einwirkung, der dazu führen würde, dass z. B. Schnee als weitere veränderliche Einwirkung nur teilweise mit angesetzt würde, nicht statthaft.

Kiesschüttungen dürfen im Regelfall als flächige Last (wie Schnee) betrachtet werden und brauchen nicht feldweise veränderlich angesetzt werden. Abweichende Lagerungen der Kiesschüttung z. B. im Zuge von Reparaturmaßnahmen am Dach sind im Einzelfall gesondert zu prüfen.

Zwängungen infolge von Temperatureinfluss

Nach DIN 18 807-3 [3] sind temperaturbedingte Zwängungen in den Verbindungen zu berücksichtigen, wenn diese nicht durch konstruktive Maßnahmen verhindert werden.

Einwirkungen aus Stabilisierungskräften

Die Schubfeldwirkung der Stahltrapezprofile kann zur Stabilisierung von Gebäuden herangezogen werden. Die Stabilisierungskräfte können einerseits Abtriebskräfte aus Stützenschiefstellungen und ungewollten Ausmittigkeiten der lotrechten Lasten oder andererseits Lasten aus Vorkrümmungen der Druckgurte von Dachbindern und sonstigen Trägern sein. Zur Bestimmung der Stabilisierungskräfte wird auf [9] verwiesen.

2.3 Widerstandsgrößen der Trapezprofile

2.3.1 Allgemeines

Die DIN 18 807 beschreibt keine genormten Profile, sondern die Methoden zur Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Trapezprofilen, deren Formen in weiten Grenzen frei wählbar sind.

Querschnittsbezogene Werte gelten im Allgemeinen als Widerstandsgrößen der Trapezprofile. Diese Werte werden für Biegung mit Querkraft im Regelfall durch Bauteilversuche nach DIN 18 807-2 [2] unter Verwendung von [15], in bestimmten Fällen auch durch Berechnung nach DIN 18807-1 [1], gewonnen. Es handelt sich um Beanspruchbarkeiten in Form von Biegemomenten, Auflagerkräften, Trägheitsmomenten und Grenzstützweiten für die Begehbarkeit. Die Werte für Normalkraftbeanspruchung werden nach Teil 1 der DIN 18 807 [1] ermittelt. Für Druckkräfte werden die Werte in Abhängigkeit der Knicklänge berechnet.

T 150.1 Positivlage

ThyssenKrupp Hoesch Baustysteme
Stahltrapezprofil Typ **T 150.1**

Querschnitts- und Widerstandsgrößen nach DIN 18807 und der Anpassungsrichtlinie Stahlbau.

Profilmaße in mm

Als Typenentwurf in bautechnischer Hinsicht geprüft
Prüfschein Nr. B 82-543-330
Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport
- Prüfstelle für Bauteile -
Düsseldorf, den 21.04.2004

Im Auftrag: Der Bearbeiter: *Sturmer Schulte*

Stiegressen des Stahlkerns $f_{yk} = 320 \text{ N/mm}^2$

Maßgebende Querschnittswerte

Name	Eigenschaft	Biegung ¹⁾		Normalkraftbeanspruchung				Grenzstiftwellen ²⁾			
		$I_{y,eff}$ [cm ⁴]	$I_{z,eff}$ [cm ⁴]	$A_{y,eff}$ [cm ²]	$A_{z,eff}$ [cm ²]	$A_{y,eff}$ [cm ²]	$A_{z,eff}$ [cm ²]	$L_{y,eff}$ [cm]	$L_{z,eff}$ [cm]		
t_0	g	$I_{y,eff}$	$I_{z,eff}$	$A_{y,eff}$	$A_{z,eff}$	$A_{y,eff}$	$A_{z,eff}$	Eisenstiftlager	Hebelstiftlager		
0,75	0,107	377	377	12,5	5,49	8,91	5,28	6,29	8,46	7,75	0,69
0,88	0,126	446	446	14,8	5,49	8,91	7,13	6,24	8,48	10,0	12,5
1,00	0,143	510	510	16,9	5,49	8,91	9,04	6,21	8,51	11,4	14,3
1,25	0,179	642	642	21,3	5,49	8,91	13,6	6,08	8,68	14,4	18,0
1,50	0,215	775	775	25,7	5,49	8,91	18,4	5,96	8,82	17,4	21,7

Schubfeldwerte

t_0 [mm]	min L_1 [cm]	zul $T_1 = Q_y / 100$ [kN/m]		zul T_2 [kN]					
		$T_{1,1}$ [kN/m]	$T_{1,2}$ [kN/m]	$T_{2,1}$ [kN]	$T_{2,2}$ [kN]				
0,75	4,7	1,48	2,38	6,3	0,308	54,9	0,67	9,00	12,0
0,88	4,4	1,50	3,14	5,3	0,290	36,0	0,73	10,6	14,2
1,00	4,1	2,33	4,38	4,7	0,228	25,8	0,78	12,2	16,2
1,25	3,6	3,29	7,81	3,7	0,181	14,5	0,87	15,3	20,5
1,50	3,3	4,36	12,5	3,3	0,150	9,05	0,96	18,5	24,7

Ausführung nach DIN 18807 Teil 3, Bild 6

t_0 [mm]	min L_1 [cm]	zul $T_1 = Q_y / 100$ [kN/m]		zul T_2 [kN]					
		$T_{1,1}$ [kN/m]	$T_{1,2}$ [kN/m]	$T_{2,1}$ [kN]	$T_{2,2}$ [kN]				
0,75	5,0	3,71	1,99	5,2	0,308	33,0	1,04	9,00	12,0
0,88	4,6	4,78	3,14	5,2	0,290	21,7	1,04	10,6	14,2
1,00	4,3	5,84	4,23	5,3	0,229	15,5	1,04	12,2	16,2
1,25	3,8	6,28	7,54	5,5	0,181	8,70	1,04	15,3	20,5
1,50	3,5	11,0	12,1	5,1	0,150	5,44	1,04	18,5	24,7

Ausführung nach DIN 18807 Teil 3, Bild 7

t_0 [mm]	min L_1 [cm]	zul $T_1 = Q_y / 100$ [kN/m]		zul T_2 [kN]					
		$T_{1,1}$ [kN/m]	$T_{1,2}$ [kN/m]	$T_{2,1}$ [kN]	$T_{2,2}$ [kN]				
0,75	5,0	3,71	1,99	5,2	0,308	33,0	1,04	9,00	12,0
0,88	4,6	4,78	3,14	5,2	0,290	21,7	1,04	10,6	14,2
1,00	4,3	5,84	4,23	5,3	0,229	15,5	1,04	12,2	16,2
1,25	3,8	6,28	7,54	5,5	0,181	8,70	1,04	15,3	20,5
1,50	3,5	11,0	12,1	5,1	0,150	5,44	1,04	18,5	24,7

1) Effektive Flächenträgheitsmomente für Lastleitung nach unten (s) bzw. oben (o).
2) Mittelscherer Querschnitt für eine konstante Durchbiegung $\sigma = \pm 1$.
3) Maximaler Schubfluss bis zu einem dem Trapezprofil als tragendes Bauteil vom Dach- und Deckenparament verwendet werden darf. Diese Anforderung gilt nicht, wenn die Trapezprofile mit sekundären Maßnahmen (z. B. Holzbohlen) bepannt werden.
4) Die Schubwellen $L_{y,eff}$ und $L_{z,eff}$ müssen die zulässigen Schubflüsse reduzieren werden.
5) Die Schubwellen $L_{y,eff}$ und $L_{z,eff}$ sind nicht maßgebend.
6) Ausleger-Kleinmaßstäbe $R_{yk} = R_{yk} > T$ (T = vormalige Schubfluss in [kN/m]).
7) Erweitert gemäß DIN 18807 Teil 3, Abschnitt 3.8.1.6.

Bild 12. Typenblatt: Querschnitts- und Schubfeldwerte

Die Daten der einzelnen Stahltrapezprofile sind in amtlich geprüften Typenblättern zusammengestellt und können somit als sichere Grundlage für die Bemessung herangezogen werden. Die Typenblätter können auch Anlagen von allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen sein. Es gibt je zwei Typenblätter für die Positiv- und Negativlage der Trapezprofile. In der Positivlage liegen die Trapezprofile auf dem Dach mit dem Längsstoß unten. Beispiele für Typenblätter sind in den Bildern 12 und 13 dargestellt.

2.3.2 Widerstandsgrößen für Biegung mit Querkraft

In den Typenblättern sind für die charakteristischen Feldmomente M_{Fk} je nach Vorzeichen des einwirkenden Momentes unterschiedliche Werte angegeben. Der Wert in der Positivlage ist für die Lastichtung nach unten mit dem in der Negativlage für die Lastichtung durch nach oben identisch.

Für die charakteristischen Endauflagerkräfte $R_{A,k}$ sind je zwei Werte für andrückende Auflagerkräfte mit unterschiedlichen Auflagerbreiten oder Überständen angegeben. Bei Auflagerbreiten, die zwischen den aufgeführten Werten liegen, dürfen die aufnehmbaren Tragfähigkeitswerte interpoliert werden. Der Wert $R_{A,Tk}$ ist beim Tragfähigkeitsnachweis zu berücksichtigen, während der Wert $R_{A,Gk}$ für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis gilt.

T 150.1 Positivlage

ThyssenKrupp Hoesch Baustysteme
Stahltrapezprofil Typ **T 150.1**

Querschnitts- und Widerstandsgrößen nach DIN 18807 und der Anpassungsrichtlinie Stahlbau.

Profilmaße in mm

Als Typenentwurf in bautechnischer Hinsicht geprüft
Prüfschein Nr. B 82-543-331
Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport
- Prüfstelle für Bauteile -
Düsseldorf, den 21.04.2004

Im Auftrag: Der Bearbeiter: *Sturmer Schulte*

Charakteristische Werte der Widerstandsgrößen bei nach oben gerichteter und abdrückender Flächenlast ¹⁾

Nennbreite [mm]	Flächenlast [kN/m ²]	Endauflager		Zwischenauflager		Nennstützweite E-E		Zwischenauflager		Nennstützweite P-P	
		$R_{A,k}$ [kN/m]	$R_{A,Tk}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]
0,75	12,1	8,62	6,59	14,4	10,69	12,5	15,9	6,05	9,85	2,38	3,38
0,88	13,0	13,7	10,5	24,3	26,87	16,4	21,7	5,97	11,3	3,58	4,42
1,00	23,0	18,5	14,2	30,7	35,24	21,1	28,7	5,83	10,4	4,42	5,51
1,25	29,4	27,2	20,6	33,9	38,22	33,9	47,4	5,84	8,06	5,35	6,46
1,50	35,5	32,8	25,1	41,0	70,43	41,0	57,2	5,82	8,04	6,46	8,88

Charakteristische Werte der Widerstandsgrößen bei nach unten gerichteter und abdrückender Flächenlast ¹⁾

Nennbreite [mm]	Flächenlast [kN/m ²]	Endauflager		Zwischenauflager		Nennstützweite E-E		Zwischenauflager		Nennstützweite P-P	
		$R_{A,k}$ [kN/m]	$R_{A,Tk}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	M_{Fk} [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]
0,75	11,5	8,62	18,2	33,49	14,4	18,4	4,30	9,10	16,7	7,45	9,18
0,88	15,0	13,7	24,0	52,81	22,3	26,2	6,85	12,0	26,57	11,1	13,1
1,00	18,5	18,5	29,1	71,75	28,4	34,5	9,23	14,6	35,76	14,2	17,2
1,25	33,5	27,2	36,7	104,2	36,2	53,4	13,6	18,4	52,93	18,2	26,7
1,50	40,3	32,8	44,4	125,9	43,9	64,4	16,4	22,1	53,00	21,9	32,1

1) An den Stellen von Linienlasten über zur Spannung und von Einheiten ist der Nachweis nicht mit dem Feldmoment M_{Fk} , sondern mit dem Stützmoment M_{Fk} für die endgültigste Lastleitung zu führen.
2) $R_{A,k}$ = Endauflagerkräfte einschließlicher Plattenüberstände.
3) Für andere Auflagerbreiten müssen die charakteristischen Werte der Widerstandsgrößen linear entsprechend verkleinert werden. Dabei darf für Auflagerbreiten kleiner als 10 mm, z. B. bei Böden, 10 mm eingesetzt werden.
4) Die Auflagerkräfte, die zwischen den aufgeführten Werten für die charakteristischen Werte der Widerstandsgrößen linear interpoliert werden.
5) Interaktion wie oben dargestellt. Sind keine Werte für M_{Fk} und $R_{A,k}$ gegeben, gilt für $\gamma = M_{Fk} \leq 5 \text{ mNm/m}$ und $\gamma = R_{A,k} \leq 10 \text{ kN/m}$.
6) $L_{y,eff}$ = Mittelwert der benannten Stützweiten. Sind keine Werte für Reststützweiten angegeben, ist beim Tragfähigkeitsnachweis $M_{Fk} = 0$ zu setzen oder ein Nachweis nach dem relevanten Tabellenfeld zu führen.

Bild 13. Charakteristische Werte der Widerstandsgrößen (überarbeitet nach Anpassungsrichtlinie)

Außer der Lage der Trapezprofile ist für die Anwendung der Widerstandsgrößen auch die Richtung der Belastung wichtig, weil die Trapezprofile i. a. nicht symmetrisch sind. Die Definition von Positiv- und Negativlage in Bezug auf das Gebäude wird eindeutig, wenn sie auf die Unterkonstruktion bezogen wird. Bei der Positivlage liegen die Gurte, welche den Längsstoß bilden, an der Unterkonstruktion. Entsprechend ist bei der Negativlage der Längsstoß nicht mit der Unterkonstruktion verbunden. Mit dieser Definition lassen sich zwei Belastungsrichtungen eindeutig angeben. Die Querlasten drücken die Trapezprofile entweder an die Unterkonstruktion an oder sie wollen abheben. In Bild 14 sind die möglichen Fälle, die bei der Anwendung der Widerstandsgrößen zu beachten sind, übersichtlich dargestellt. Bei der Bemessung müssen diese Varianten genau beachtet werden.

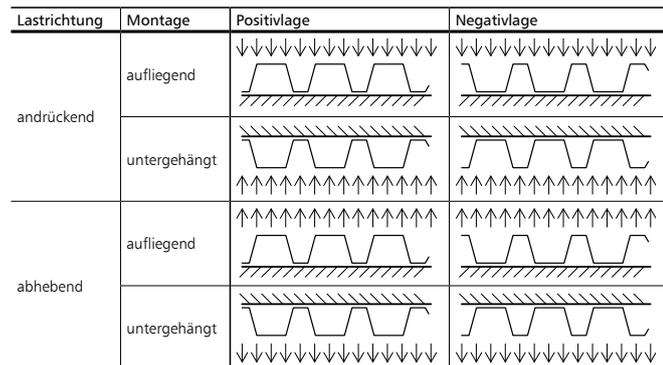


Bild 14. Definitionen der Profilage und der Belastungsrichtung



Befestigung der Trapezprofilbleche mit Setzbolzen
[Foto: Fischer]

Die Nachweise Elastisch-Elastisch an den Zwischenstützen (und bei Einleitung von Einzellasten) müssen unter Beachtung der Interaktion von Stützmoment und Auflagerkraft geführt werden. Ergänzend dazu ist für das Stützmoment und die Auflagerkraft je für sich allein der Maximalwert $M_{B,k}$ bzw. $R_{B,k}$ zu beachten.

Für das Zusammenwirken von Biegemoment und Auflagerkraft gilt nach DIN 18 807-2 [2] und unter Beachtung der Anpassungsrichtlinie [5], bei experimenteller Bestimmung der Widerstandsgrößen, folgende Interaktion:

$$\frac{M_B}{M_{B,k}^0} + \left(\frac{R_B}{R_{B,k}^0} \right)^\varepsilon = 1 \quad (10)$$

Darüber hinaus sind die Bedingungen einzuhalten:

$$M_B \leq \max M_{B,k} \quad (11)$$

$$R_B \leq \max R_{B,k} \quad (12)$$

Darin bedeuten:

M_B	Biegemoment an der Zwischenstütze
R_B	zugeordnete Auflagerkraft (Druck oder Zug; beides positiv)
$\max M_{B,k}^0$	maximales charakteristisches Biegemoment an der Zwischenstütze
$\max R_{B,k}^0$	maximale charakteristische Auflagerkraft
$M_{B,k}^0$	charakteristisches Biegemoment, wenn die Auflagerkraft gleich null ist
$R_{B,k}^0$	charakteristische Auflagerkraft, wenn das Biegemoment gleich null ist
ε	Formbeiwert für die Interaktionskurve

2.3.3 Widerstandsgrößen für Normalkraftbeanspruchung

In den Typenblättern sind die charakteristischen Normalkräfte nicht direkt angegeben. Diese Widerstandsgrößen müssen nach DIN 18 807-1 [1] berechnet werden. Für die genaue Ermittlung dieser Widerstandsgrößen wird an dieser Stelle

auf die DIN 18 807-1 Trapezprofile im Hochbau, Stahltrapezprofile: Allgemeine Anforderungen, Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Berechnung [1], Abschnitt 4.2.8, verwiesen.

2.4 Nachweise für Trapezprofildächer und -wände

2.4.1 Grundsätzliches zu den Einwirkungskombinationen

Die auf die Bauteile wirkenden Beanspruchungen ermitteln sich aus den Kombinationen der Einwirkungen. DIN 18 800-1 unterscheidet zwischen Grundkombinationen und außergewöhnlichen Kombinationen. Die außergewöhnlichen Einwirkungen haben für Trapezprofile keine Bedeutung.

Für die Grundkombinationen sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- Ständige Einwirkungen und alle ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen (Hauptkombinationen)
- Ständige Einwirkungen und jeweils eine der ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen (Nebenkombinationen)

Die Einwirkungskombinationen der DIN 1055-100 [8] dürfen nach der MLTB [16] alternativ zu den Einwirkungskombinationen der DIN 18 800 [6] verwendet werden.

Nach DIN 1055-100 [8] sind jeweils verschiedene Kombinationsregeln für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen.

2.4.2 Einwirkungskombinationen beim Nachweis der Tragsicherheit

Für Stahltrapezprofile auf Dächern werden die Beigebeanspruchungen im allgemeinen nach der Elastizitätstheorie oder unter Berücksichtigung plastischer Verformungen an Zwischenstützen von Durchlaufträgern aus gleichmäßig verteilten Lasten ermittelt.

Nach den Kombinationsregeln der DIN 18 800-1 [6] ergibt sich die resultierende Belastung für allseitig geschlossene Gebäude für nach unten gerichtete Einwirkungen zu:

$$q_d = \gamma_{EG} \cdot g + \gamma_{EQ} \cdot (s + p_K + p_I) \quad (13)$$

mit:

g	Eigenlast der Trapezprofile und des weiteren Dachaufbaus
s	Schneelast
p_K	Kiesschüttung (sofern vorhanden)
p_I	abgehängte Installationen (falls vorhanden)

Die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 18 800-1 [6] und der Anpassungsrichtlinie [5] sind mit $\gamma_{FG} = 1,35$ und $\gamma_{EQ} = 1,50$ anzusetzen.

Wegen der „Unsicherheit“ bei dem Lastansatz für Kiesschüttungen sollte von der Verwendung des Kombinationsbeiwertes ψ abgesehen werden.

Ist z. B. bei flach geneigten Dächern auch der Winddruck zu berücksichtigen, dann ergibt sich die Bemessungskombination nach DIN 18 800-1 [6] zu:

$$q_d = \gamma_{FG} \cdot g + \gamma_{EQ} \cdot (p_k + p_l) + \gamma_{EQ} \cdot \psi \cdot (s + w_D) \quad (14)$$

In diesem Fall ist $\psi = 0,9$ nach [6] zu berücksichtigen.

Alternativ ergibt sich nach DIN 1055-100 [8] nachfolgende Kombination für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation, wobei Schnee als vorherrschende veränderliche Einwirkung angesetzt wird:

$$q_d = \gamma_{G,1} \cdot g + \gamma_{G,2} \cdot (p_k + p_l) + \gamma_{Q,1} \cdot s + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot w_D \quad (15)$$

mit:

$$\gamma_{G,1} = 1,35, \gamma_{G,2} = 1,50 \text{ (siehe hierzu Abschnitt 2.2),}$$

$$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,2} = 1,50 \text{ und } \psi_{0,2} = 0,60$$

Mit den *nach oben gerichteten Einwirkungen* sind die Beanspruchungen nach der Elastizitätstheorie zu ermitteln.

Nach DIN 18 800-1 [6] ergibt sich die resultierende Belastung zu:

$$q_d = \gamma_{EQ} \cdot w_S - \gamma_{FG} \cdot g \quad (16)$$

mit:

- g Eigenlast der Trapezprofile und des weiteren Dachaufbaus
- w_S Windsog, i. Allg. ermittelt aus den $c_{pe,10}$ – Druckbeiwerten für die Verbindungen auch mit den erhöhten $c_{pe,1}$ – Druckbeiwerten

Die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 18 800-1 [6] und der Anpassungsrichtlinie [5] sind mit $\gamma_{FG} = 1,00$ und $\gamma_{EQ} = 1,50$ anzusetzen.

Nach DIN 1055-100 [8] ergibt sich für die entsprechende Beanspruchung die Ermittlung der resultierenden Beanspruchung zu:

$$q_d = \gamma_Q \cdot w_S - \gamma_{G,inf} \cdot g \quad (17)$$

mit:

$$\gamma_{G,inf} = 1,00, \gamma_Q = 1,50$$

Beanspruchungen der Trapezprofile und Verbindungen bei Außenwänden entstehen im Allgemeinen durch Einwirkungen aus Wind. Die angegebenen Kombinationsregeln gelten sowohl nach DIN 18 800-1 [6] als auch nach DIN 1055-100 [8]. Für geschlossene Gebäude gelten die Bemessungslasten für:

- Winddruck

$$q_d = \gamma_{EQ} \cdot w_D \quad (18)$$

- Windsog

$$q_d = \gamma_{EQ} \cdot w_S \quad (19)$$

- für seitlich offene Gebäude

$$q_d = \gamma_{EQ} \cdot (w_D + w_{S,i}) \text{ bzw.}$$

$$q_d = \gamma_{EQ} \cdot (w_S + w_{D,i}) \quad (20)$$



Zentralstadion Leipzig

2.4.3 Nachweise für Biegung und Querkraft

Nach Teil 3 der DIN 18 807 sind für den Tragsicherheitsnachweis sowohl das Verfahren Elastisch-Elastisch als auch das Verfahren Plastisch-Plastisch unter Ansatz der Reststützmomente zugelassen. Der globale Sicherheitsbeiwert beträgt $\gamma = 1,7$. In der Anpassungsrichtlinie [5] werden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchungen nach DIN 18 800-1 [6] im Abschnitt 7.2.2 festgelegt.

Das Nachweisformat für die Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise lautet:

$$S_d \leq R_k / \gamma_M \quad (21)$$

Die charakteristischen Widerstandsgrößen R_k sind in den Typenblättern angegeben.

Bei den Tragsicherheitsnachweisen nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch sind je Einwirkungskombination die folgenden Bedingungen einzuhalten:

- Feldmomente:

$$M_{F,S,d} \leq M_{F,k} / \gamma_M \quad (22)$$

- Endauflagerkräfte:

$$R_{A,S,d} \leq R_{A,T,k} / \gamma_M \quad (23)$$

- Stützmomente:

$$M_{B,S,d} \leq \max M_{B,k} / \gamma_M \quad (24)$$

- Zwischenauflegerkraft:

$$R_{B,S,d} \leq \max R_{B,k} / \gamma_M \quad (25)$$

- Interaktion:

$$\frac{M_{B,S,d}}{M_{B,k}^0 / \gamma_M} + \left(\frac{R_{B,S,d}}{R_{B,k}^0 / \gamma_M} \right)^\varepsilon \leq 1 \quad (26)$$

oder

$$M_{B,S,d} \leq M_{B,k}^0 / \gamma_M - \left(\frac{R_{B,S,d}}{C_k / \gamma_\varepsilon} \right)^\varepsilon \quad (27)$$

mit:

$$\begin{aligned} \gamma_\varepsilon &= 1 && \text{für } \varepsilon = 1 \\ \gamma_\varepsilon &= (\gamma_M)^{1/2} && \text{für } \varepsilon = 2 \end{aligned}$$

In den o. g. Bedingungen sind die Momente und Auflagerkräfte sowohl auf der Einwirkungsseite als auch auf der Widerstandsseite ohne Vorzeichen als Beträge einzusetzen. Für alle genannten Nachweise ist der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,1$ auf der Materialseite zu verwenden.

Werden die Trapezprofile über den Auflagern so unterstützt, dass ein Stegkrüppeln nicht eintreten kann, so ist nach DIN 18 807-3, Abs. 3.3.3.6.3 eine Momenten-Querkraft-Interaktion nach Gleichung (28) anzusetzen. Diese M-V-Interaktion lautet:

$$\frac{M_B}{M_k} + \frac{V_B}{V_k} = 1,3 \quad (28)$$

wobei jeder einzelne Summand $\leq 1,0$ sein muss. Die charakteristischen Werte der Widerstandsgrößen M_k und V_k sind rechnerisch nach DIN 18 807-1 Abs. 4.2.5 zu ermitteln.

Sofern bei andrückender Belastung mindestens eine Bedingung an den Auflagern nicht erfüllt ist, kann der Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch geführt werden. Dieses Verfahren geht davon aus, dass nach dem Überschreiten des charakteristischen Stütz-

momentes sich an den Zwischenstützen von Durchlaufträgern durch plastisches Beulen des Querschnitts jeweils ein kleineres Stützmoment, das Reststützmoment, einstellt. Die Größe des Reststützmomentes ist in den Typenblättern als Widerstandsgröße angegeben.

Mit den sich nach dem Umlagern einstellenden Schnittgrößen / Beanspruchungen am System sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

- Endauflagerkräfte:

$$R_{A,S,d} \leq R_{A,T,k} / \gamma_M \quad (29)$$

- Feldmomente:

$$M_{F,S,d} \leq M_{F,k} / \gamma_M \quad (30)$$

Im Anschluss an den Tragsicherheitsnachweis Plastisch-Plastisch (P-P) ist ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis Elastisch-Elastisch (E-E) mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach der Anpassungsrichtlinie [5] an den Auflagern zu führen.

Als Teilsicherheitsbeiwerte sind für diesen Gebrauchstauglichkeitsnachweis zu berücksichtigen:

$$\begin{aligned} \gamma_{FG} &= 1,00 && \text{für ständige Einwirkungen} \\ \gamma_{FQ} &= 1,15 && \text{für veränderliche Einwirkungen} \\ \gamma_M &= 1,10 && \text{für Material} \end{aligned}$$

Für Trapezprofilbleche, die als Biegeträger nachgewiesen werden, ist auf jeden Fall eine Durchbiegungsbeschränkung einzuhalten. Die Nachweise der Durchbiegungsbeschränkung sind Gebrauchstauglichkeitsnachweise im Sinne der DIN 18 800-1 [6] nach den Elementen (715) und (722). Nach DIN 18 807 Teil 3 werden diese Verformungsnachweise unter der Summe der ungünstig wirkenden 1,0-fachen Einwirkungen und den charakteristischen Werten der Biegesteifigkeit EJ_{ef} geführt. Das effektive Trägheitsmoment J_{ef} ist den Typenblättern „Querschnitts- und Schubfeldwerte, siehe Bild 12) zu entnehmen. Als Durchbiegungsschranken gelten die Bestimmungen von DIN 18 807-3 [3], die denen der DIN 18 800-1 [6] nicht widersprechen.

Nach DIN 18 807-3 gilt für die Durchbiegungsbeschränkung:

- für Dächer mit oberseitiger Abdichtung (Warmdach)

$$f_{max} \leq l / 300 \quad (31)$$

- für zweischalige Trapezprofiltdächer

$$f_{max} \leq l / 150 \quad (32)$$

- für Wände unter Windbelastung

$$f_{max} \leq l / 150 \quad (33)$$



Trapezprofile als Wandverkleidung [Foto Hoesch]



Paletten für den Transport

2.4.3.1 Besonderheiten bei der Bemessung auf Biegung

Einzellasten oder Linienlasten im Feld

An den Stellen, an denen im Feld Einzellasten oder Linienlasten quer zur Spannrichtung angreifen, ist der Tragfähigkeitsnachweis nicht mit dem Feldmoment, sondern mit einem Stützmoment anderer Lastrichtung oder Profillage unter Beachtung der Interaktion zwischen Querkraft und Biegemoment zu führen. Dieser Fall tritt bei Dächern aber selten auf.

Begehbarkeit

Durch die Einhaltung der Grenzstützweiten „ L_{gr} “ wird der Nachweis der Begehbarkeit der Trapezprofiltafeln für Einzelpersonen während und nach der Montage geführt. Die Grenzstützweiten sind in den amtlich geprüften Typenblättern für Einfeld- und Mehrfeldträger angegeben. Ermittelt werden diese Werte durch Versuche mit einer Einzellast auf einer Rippe einer Trapezprofiltafel nach DIN 18 807-2. Nur wenn die Trapezprofile als Tragkonstruktion (tragende Schale) eingesetzt werden, ist dieser Nachweis nach DIN 18 807-3 gefordert.

Weiterhin braucht die Grenzstützweite dann nicht eingehalten zu werden, wenn die Trapezprofile mit lastverteilenden Maßnahmen (z. B. Holzbohlen) begangen werden. In den Blech-Verlegeplänen ist immer dann ein entsprechender Hinweis aufzunehmen, wenn der Nachweis der Begehbarkeit nicht erbracht wurde.

2.4.4 Nachweise für Normalkraft

Werden die Trapezprofile nur durch Normalkraft beansprucht, lauten die Nachweise:

$$N_{Z,S,d} \leq N_{Z,k} / \gamma_M \quad (34)$$

$$N_{D,S,d} \leq N_{D,k} / \gamma_M \quad (35)$$

Für die Interaktion mit Biegemomenten gilt:

- bei Zugbeanspruchungen

$$\frac{N_{Z,S,d}}{N_{Z,k} / \gamma_M} + \frac{M_{B,S,d}}{M_{B,k}^0 / \gamma_M} + \left(\frac{R_{B,S,d}}{R_{B,k}^0 / \gamma_M} \right)^\epsilon \leq 1 \quad (36)$$

- bei Druckbeanspruchungen

$$\frac{N_{D,S,d}}{N_{D,k} / \gamma_M} \left[1 + 0,5 \cdot \alpha \cdot \left(1 - \frac{N_{D,S,d}}{N_{D,k} / \gamma_M} \right) \right] + \frac{M_{B,S,d}}{M_{B,k}^0 / \gamma_M} + \left(\frac{R_{B,S,d}}{R_{B,k}^0 / \gamma_M} \right)^\epsilon \leq 1 \quad (37)$$

mit α nach DIN 18 807-1 [1], Abschnitt 4.2.8.2.

Die entsprechenden Tragfähigkeitsnachweise für Normalkraft werden am elastischen System geführt. Ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist danach nicht mehr erforderlich. Eine Ausnutzung der Reststützmomente nach dem Überschreiten der charakteristischen Schnittgrößen im elastischen Bereich an Zwischenauflägern von Durchlaufträgern ist in diesem Fall nicht möglich.

2.4.5 Schnittgrößenermittlung unter Berücksichtigung von plastischen Verformungen

Werden die Beanspruchungen soweit gesteigert, dass die charakteristischen, d. h. elastisch aufnehmbaren, Stützmomente an einer oder mehreren Zwischenstützen eines Durchlaufträgers überschritten werden, stellt sich ein weiterer Gleichgewichtszustand mit geringeren Stützmomenten, den Reststützmomenten, ein. Die Verringerung der Stützmomente infolge der plastischen Beulen im Auflagerbereich führt im System des Durchlaufträgers zu Momentenumlagerungen von der Stütze bzw. den Stützen in die benachbarten Felder, d. h. die Feldmomente vergrößern sich. Werden im Berechnungsverfahren die möglichen Umlagerungen der Stützmomente durch Ansatz der Reststützmomente genutzt, müssen in den weiteren Nachweisen die Auswirkungen auf die Feldmomente – unter Einhaltung der Gleichgewichtsbedingungen – unbedingt berücksichtigt werden. Die maximal aufnehmbare Last ist damit die Lastgröße, bei der sich eine Fließgelenkkette ausbildet.

2.4.6 Anforderungen an die Unterkonstruktion als Auflager für Stahltrapezprofile

Als Unterkonstruktionen für Stahltrapezprofile sind neben Stahlträgern auch Stahlbeton, Spannbeton, Mauerwerk und Holz möglich. Die Mindestauflagerbreiten betragen (soweit sich aus dem Festigkeitsnachweis keine erforderliche Auflagerbreite ergibt) zuzüglich Trapezprofilüberstand mindestens 80 mm, bei Mauerwerk mindestens 100 mm. Wird das Trapezprofil unmittelbar nach dem Verlegen auf dem Auflager befestigt, dürfen als Mindestauflagerbreiten die Werte der Tabelle 3 angesetzt werden.

Art der Unterkonstruktion	Stahl, Stahlbeton	Mauerwerk	Holz
Endauflagerbreite min b_a in mm	40	100	60
Endauflagerbreite min b_g in mm	60	100	60

Tabelle 3: Mindestauflagerbreiten



Die Unterkonstruktion für Hoesch Wellprofile, Trapezprofile und Sidingfassade Planeel®

Dr.-Ing. Joachim Kretz
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN 18 807-1: Trapezprofile im Hochbau, Stahltrapezprofile, - Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Berechnung. Ausgabe Juni 1987
- [2] DIN 18 807-2: Trapezprofile im Hochbau, Stahltrapezprofile, - Teil 2: Durchführung und Auswertung von Tragfähigkeitsversuchen. Ausgabe Juni 1987
- [3] DIN 18 807-3: Trapezprofile im Hochbau, Stahltrapezprofile, - Teil 3: Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung. Ausgabe Juni 1987
- [4] Anpassungsrichtlinie Stahlbau: Deutsches Institut für Bautechnik, Mitteilungen Sonderheft 11/2, 3. Auflage, Dezember 1998
- [5] Anpassungsrichtlinie Stahlbau: Deutsches Institut für Bautechnik, Mitteilungen Sonderheft 11/2, Ausgabe November 2002, Teilnachdruck der 3. Auflage, inklusive Ergänzungen Dezember 2001
- [6] DIN 18 800-1: Stahlbauten, Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Ausgabe November 1990
- [7] Eggert, H.: Stahlbaunormen – angepasst. Ernst & Sohn, Berlin 1999
- [8] DIN 1055: Einwirkungen auf Tragwerke
- Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, März 2001
- Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen. Juni 2002
- Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten. März 2005
- Teil 4: Windlasten. März 2005 und 1. Berichtigung März 2006
- Teil 5: Schnee- und Eislasten. Juli 2005
- Teil 7: Temperatureinwirkungen. November 2002
- Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen. August 2003
- [9] DASt-Richtlinie 016: Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen. Ausgabe Juli 1988
- [10] Möller, R.; Pötter, H.; Schwarze, K.: Planen und Bauen mit Trapezprofilen und Sandwichelementen. Band 1: Grundlagen, Bauweisen, Bemessung mit Beispielen. Ernst & Sohn, Düsseldorf 2004
- [11] Schwarze, K; Raabe, O.: Stahlprofiltafeln für Dächer und Wände. In: „Stahlbau-Kalender 2009. Ernst & Sohn, Berlin 2009
- [12] DIBt Mitteilungen Sonderheft 36: Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C. Deutsches Institut für Bautechnik, Ausgabe 2008/1
- [13] DIN EN 14782: Selbsttragende Dachdeckungs- und Wandbekleidungs-elemente für die Innen- und Außenanwendung aus Metallblech – Produktspezifikation und Anwendungen; Deutsche Fassung EN 14782:2006
- [14] DIN EN 1993-1-3 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche; Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006
- [15] DIBt: Grundsätze für den Nachweis der Standsicherheit von Stahltrapezprofilen. Deutsches Institut für Bautechnik, Mitteilungen 5/1990
- [16] MLTB Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen Deutsches Institut für Bautechnik, Fassung September 2008.