

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP Nr.: 3

WP Titel: E-Lectures

Deliverable Nr.: 3.1

Titel: Fassadenprofile mit Steckverbindungen

Datum: 31. März 2018

**Das GRISPE PLUS Projekt wurde vom Forschungsfonds der
Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (RFCS)
im Rahmen der Förderungsvereinbarung Nr. 754092 unterstützt**

Autor(en)

Mickael BLANC, BACACIER

Zeichnungshistorie

ENTWURF Nr. 1 - Datum: 29. März 2018

ENDFASSUNG - Datum: 30. März 2018

Verbreitungsgrad

PU	öffentlich	X
PP	Beschränkt auf die Kommissionsdienststellen, die Technischen Gruppen Kohle und Stahl und das Europäische Komitee für Normung (CEN).	
RE	Beschränkt auf eine von den Begünstigten angegebene Gruppe	
CO	Vertraulich, nur für Begünstigte (einschließlich der Kommissionsdienststellen)	

DISCLAIMER NOTICE AND EU ACKNOWLEDGEMENT OF SUPPORT

Disclaimer notice

By making use of any information or content in this manual you agree to the following:

No warranties

All the information or content provided in this manual is provided "as is" and with no warranties. No express or implies warranties of any type, including for example implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are made with respect to the information or content, or any use of the information or content in this manual.

The authors make no representations or extend no warranties of any type as to the completeness, accuracy, reliability, suitability or timeliness of any information or content in this manual.

Disclaimer of liability

This manual is for informational purposes only. It is your responsibility to independently determine whether to perform, use or adopt any of the information or content in this manual.

The authors specifically disclaim liability for incidental or consequential damages and assume no responsibility or liability for any loss or damage suffered by any person as a result of the use or misuse of any of the information or content in this manual.

The authors will not be liable to you for any loss or damage including without limitation direct, indirect, special or consequential loss or damage, or any loss or damage whatsoever arising from loss of data or loss of business, production, revenue, income, profits, commercial opportunities, reputation or goodwill, arising out of, or in connection with, the use of the information or content in this manual.

The authors do not represent, warrant, undertake or guarantee that the use of the information or content in this manual will lead to any particular outcome or results.

Reasonableness

By using this manual, you agree that the exclusions and limitations of liability set out in this disclaimer are reasonable. If you do not think they are reasonable, you must not use this manual.

Severability

If any part of this disclaimer is declared unenforceable or invalid, the remainder will continue to be valid and enforceable.

"The information and views set out in this report, article, guide, etc. (select the correct word) are those of the author(s) and do not necessarily reflect the official opinion of the European Union. Neither the European Union and bodies nor any person acting on their behalf may be held responsible for the use which may be made of the information or views contained therein"

EU acknowledgement of support

The GRISPE project has received financial support from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under grant agreement n° 75 4092.

VORWORT

Diese Bemessungsregeln wurden mit Unterstützung der RFCS-Förderung Nr. 754092 erstellt.

Diese neue Bemessungsmethode wurde in der Evolutionsgruppe der EN 1993-1-3 in den Jahren 2016-2017 vorgestellt und wird für die Aufnahme in die Eurocodes in Betracht gezogen.

Diese Bemessungsregeln wurden von Mickaël BLANC verfasst und in einer GRISPE PLUS Arbeitsgruppe diskutiert, die sich aus folgenden Mitgliedern zusammensetzt:

Mickaël BLANC	Frankreich
Silvia CAPRILI	Italien
David IZABEL	Frankreich
Markus KUHNENNE	Deutschland
Anna PALISSON	Frankreich
Valérie PRUDOR	Frankreich
Irene PUNCELLO	Italien
Dominik PYSCHNY	Deutschland
Thibaut RENAUX	Frankreich
Daniel SPAGNI	Frankreich

ABBILDUNGEN

Die Abbildungen stammen aus folgenden Quellen

Abbildung 0.1	BACACIER
Abbildung 1.1	BACACIER
Abbildung 1.2	BACACIER
Abbildung 1.3	BACACIER
Abbildung 1.4	JORIS IDE
Abbildung 1.5	KIT
Abbildung 1.6	BACACIER
Abbildung 1.7	BACACIER
Abbildung 1.8	KIT
Abbildung 1.9	KIT
Abbildung 5.1	BACACIER
Abbildung 5.2	BACACIER
Abbildung 5.3	BACACIER
Abbildung 5.4	BACACIER
Abbildung 5.5	BACACIER
Abbildung 7.1	BACACIER
Abbildung 7.2	BACACIER
Abbildung 7.3	BACACIER
Abbildung 7.4	BACACIER
Abbildung 7.5	BACACIER
Abbildung 7.6	BACACIER

INHALTSVERZEICHNIS

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG 7

BEZEICHNUNGEN 7

1. EINLEITUNG 7

 1.1. Form der untersuchten Stahlprofile 7

 1.2. Stand der Technik 8

 1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE 9

 1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln 11

2. VORBEMESSUNG 12

 2.1. Anwendungsbereich der neuen Bemessungsmethode 12

 2.2. Technische Vorschriften 12

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN 12

4. MATERIALEIGENSCHAFTEN 12

5. BEMESSUNGSMETHODE 12

 5.1. Grundlagen 12

 5.2. Anwendungsbereich der neuen Bemessungsmethode 13

 5.3. Bemessungsverfahren 13

 5.3.1. Momenttragfähigkeit bei Druckbeanspruchung im breiten Gurt 13

 5.3.2. Momententragfähigkeit bei Zugbeanspruchung im breiten Gurt 14

 5.3.3. Beanspruchbarkeit der Stege am Endauflager 15

 5.3.4. Widerstand gegen die Verschiebung der Fugenkante 16

6. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN 16

7. BERECHNUNGSBEISPIEL 16

 7.1. Abmessungen des Gebäudes und Einwirkungen 16

 7.2. Annahmen 17

 7.2.1. Anordnung 17

 7.2.2. Profilgeometrie 17

 7.2.3. Materialeigenschaften 17

 7.3. Berechnung der Widerstandswerte des Profils 18

 7.3.1. Anwendungsbereich des Profils 18

 7.3.2. Widerstand gegen die Verschiebung der Fugenkante 18

 7.3.3. Momenttragfähigkeit bei Druckbeanspruchung 18

 7.3.4. Momenttragfähigkeit bei Sogbeanspruchung 20

 7.3.5. Beanspruchbarkeit der Stege am Endauflager 22

 7.4. Überprüfung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit 22

 7.4.1. Lasten und Schnittgrößen 22

 7.4.2. Nachweise 22

 7.5. Überprüfung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit 23

 7.5.1. Lasten und Schnittgrößen 23

 7.5.2. Nachweise 23

7.6. Softwareüberprüfung	23
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	25
LITERATURVERZEICHNIS	26
ANHANG:	27

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, das neue Bemessungsverfahren für Fassadenprofile mit Steckverbindungen nach [1] vorzustellen, das für die Aufnahme in [2] vorgeschlagen wurde.

Diese Bemessungsregeln befassen sich mit aktuellen Situationen.

Für Ausnahmesituationen (Erdbeben, Feuer, etc.) sind die entsprechenden Bestimmungen der Eurocodes bzw. [1] zu beachten.

BEZEICHNUNGEN

Folgende Symbole werden verwendet:

b_u : Nutzbreite des breiten Gurtes des Fassadenprofils

h : Gesamthöhe des Fassadenprofils

b_f : Breite des gehaltenen Gurtes an der Profilfuge

c_f : Breite des freien Gurtes an der Profilfuge (undefiniert für die Chevronverbindung)

φ : Winkel der Verbindung zu den Gurten des Fassadenprofils

L : Spannweite des Fassadenprofils

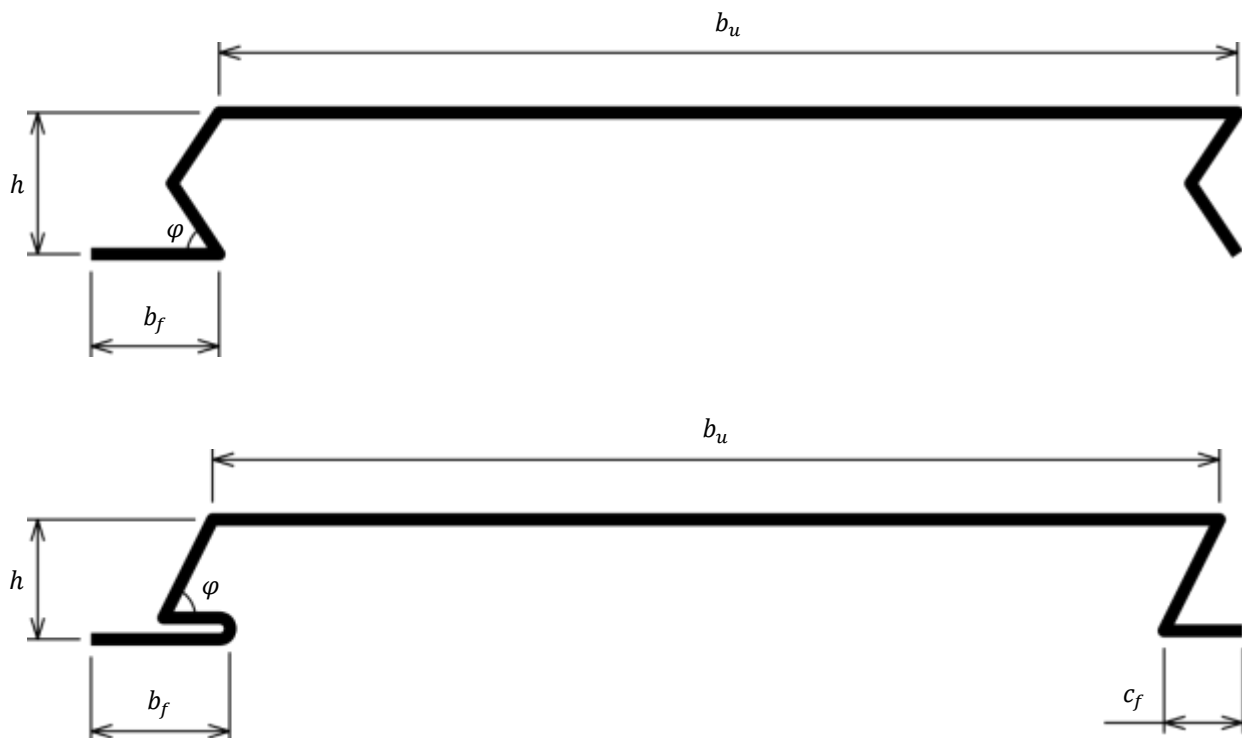


Abbildung 0.1 - Geometrische Parameter von Fassadenprofilen

1. EINLEITUNG

1.1. Form der untersuchten Stahlprofile

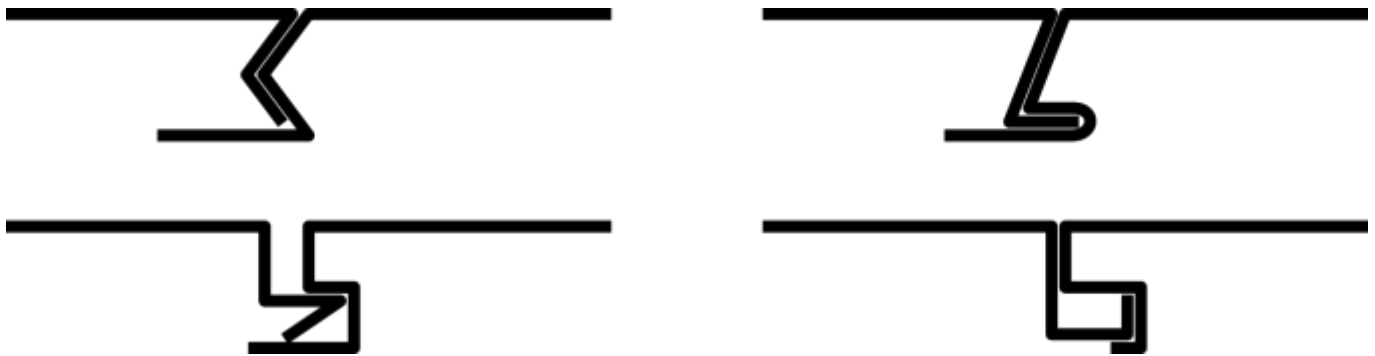
Diese Bemessungsregeln befassen sich mit Fassadenprofilen mit Steckverbindungen, die für die Verkleidung von Gebäuden verwendet werden. Die unten dargestellte Methode gilt für die beiden Hauptfugenformen von Fassadenprofilen: Chevronverbindung (Abbildung 1.1) und Klemmverbindung (Abbildung 1.2).


Abbildung 1.1 Chevronverbindung [LK1]

Abbildung 1.2 Klemmverbindung

1.2. Stand der Technik

In der Geschichte der Gebäudehülle aus Stahl wurden Fassadenprofile mit Steckverbindungen für die ästhetische Anwendung entwickelt. Das Forschen für versteckte Befestigungen und breite, ebene Flächen übernahm die Forschung der mechanischen Aspekte. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Formen von Fugen, wie in Abbildung 1.3, entwickelt.


Abbildung 1.3 Verschiedene Fugenformen (nicht erschöpfend)

Unter ästhetischen Gesichtspunkten stellen die beiden vorhergehenden Punkte (versteckte Befestigungen und breite, ebene Flächen) einen gewissen Vorteil und eine gute Antwort auf die Belangen der Architekten dar. Deswegen bekommen diese Profile immer mehr Aufmerksamkeit und werden auch immer häufiger verwendet.

Bezüglich der Bewertung der Leistungen von Fassadenprofilen mit Steckverbindungen unter Windlast werden von jedem Land verschiedene Regeln vorgegeben. In einigen Ländern sind Bemessungswerte sowohl aus Berechnungen als auch Versuchen zulässig und in anderen nur aus Versuchen. Obwohl die Entwurfsverfahren unterschiedlich sind, wurde keine harmonisierte Lösung in die Eurocodes aufgenommen.

Gesteckte Profile sind nicht explizit Teil des aktuellen Geltungsbereichs des Eurocodes. Aber sie können wie Kassettenprofile als "große Rinnenprofile mit zwei schmalen Gurten, zwei Stegen und einem breiten Gurt" charakterisiert werden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Formeln zur Berechnung der Widerstände von Kassettenprofilen bei der Bemessung von Fassadenprofilen mit Steckverbindungen interessante Ergebnisse liefern.

Auch wenn diese Ergebnisse eine gute Abschätzung des Tragverhaltens der Profile darstellen, mit denen wir es derzeit zu tun haben, muss ein typischer Versagensmodus berücksichtigt werden. Allein aufgrund der Tatsache, dass die Kante der Fuge durch die versteckten Befestigungslösungen frei beweglich ist, lässt sich ein spezifisches Tragverhalten bei Versuchen unter Sogbelastung beobachten. Mit zunehmender Belastung des Profils geht die freie Kante langsam aus der Fuge heraus, was zu einer Verschiebung dieser führt (s. Abbildung 1.4), während die Seite des breiten Gurtes noch in Takt ist.



Abbildung 1.4 Stufenweise Verschiebung der Fugenkante unter Sogbelastung

1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE

Es wurde eine vollständige Versuchsreihe nach Eurocode (s. [3] und [4]) an den beiden in Abbildung 1.1 vorgestellten Profilen durchgeführt. Diese bestehen aus:

- Einfeld-Biegeversuche in der Vakuumkammer (s. Abbildung 1.5)
 - o Unter Druckbelastung
 - o Unter Soglasten
- Zweifeld-Biegeversuche in der Vakuumkammer
 - o Unter Druckbelastung
 - o Unter Soglasten
- Endauflagerversuch

Die Versuche wurden mit zwei verschiedenen Nenndicken durchgeführt: 0,75 mm und 1 mm.



Abbildung 1.5 - Versuchskörper in der Vakuumkammer positioniert (Druckbelastung)

Ein zentrales Ergebnis ist die Tatsache, dass bei Zweifeld-Biegeversuchen unter Sog- und Druckbelastung die Fassadenprofile keinen Widerstand am Zwischenaufleger zeigen und sich wie ein Gelenk verhalten.

Bei der Prüfung des Zwischenauflegers haben wir festgestellt, dass die zentrale Auflagerreaktion dem Wert entspricht, den wir bei zwei isostatischen Trägern erwarten und nicht dem Wert, der bei einem einzelnen kontinuierlichen Träger erwartet wird (s. Abbildung 1.6 und Abbildung 1.7). Diese Beobachtung wird durch die charakteristische Momententragfähigkeit (M_{Rk}) der Profile in der Mitte der Spannweite bestätigt, die bei den Versuchen mit einfacher und doppelter Spannweite identisch sind.

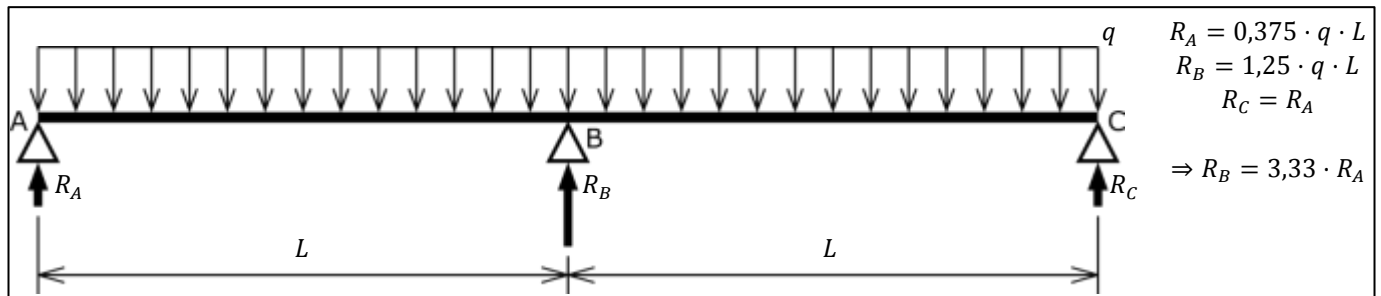


Abbildung 1.6 - Erwartetes Verhalten bei Zweifeld-Biegeversuchen

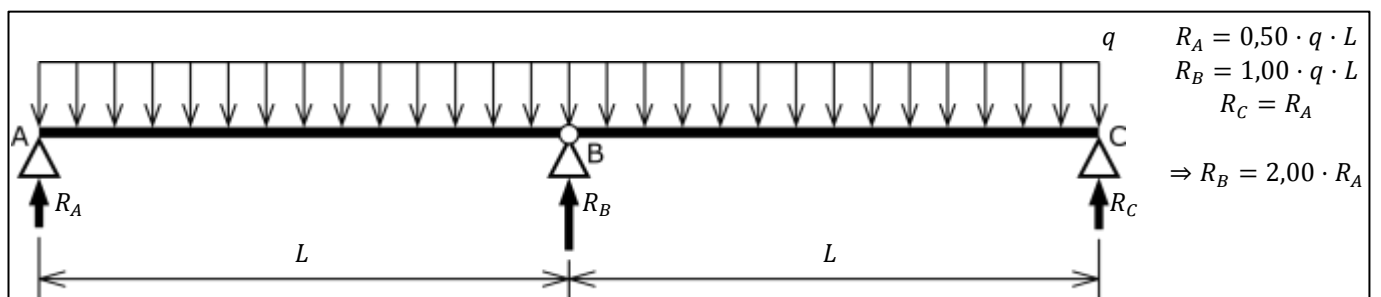


Abbildung 1.7 - Beobachtetes Verhalten bei Zweifeld-Biegeversuchen

Das andere zentrale Ergebnis bei den Biegeversuchen unter Sogbelastung ist, dass im Gegensatz zur Belastung mit Holzklötzen, bei der Belastung in der Vakuumkammer die Verschiebung der Fugenkante nicht als einzige Versagensart zu beobachten ist.

Einige der Versuchskörper versagen durch die Verschiebung der Fugenkante, die meisten jedoch am lokalen Beulen des Gurtes in der Mitte der Spannweite, wie in Abbildung 1.8. Die Vakuumkammer ist der realistischste Weg, um die Windlasten darzustellen, die die Profile an tatsächlichen Gebäude aufnehmen müssen. Daher können die aktuellen Widerstandswerte, wenn sie durch Versuche mit Holzklötzen ermittelt wurden, zu hoch sein.



Abbildung 1.8 - Versagen der Gurtverbindungen durch lokales Beulen bei Einfeld-Biegeversuchen unter Sogbelastung

Vielleicht sollte dieser Punkt das Hauptthema einer umfassenden Studie sein, um ein besseres Verständnis eines solchen Phänomens zu erhalten. Das typische Versagen für den Zweifeld-Biegeversuch unter Sogbelastung durch Verschiebung der Fugenkante ist in Abbildung 1.9 zu sehen.

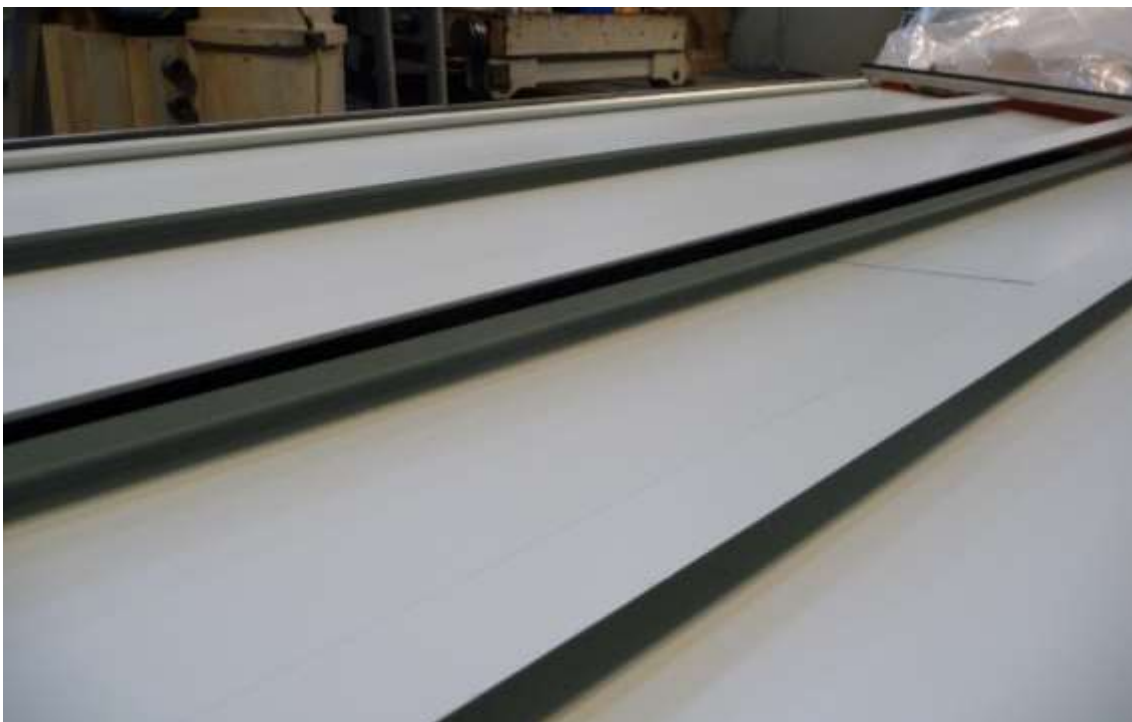


Abbildung 1.9 - Versagen bei Zweifeld-Biegeversuchen unter Sogbelastung durch Verschiebung der Fugenkante

1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln

Die folgende Bemessungsmethode bietet nur eine Möglichkeit der Berechnung des Bemessungswiderstandes R_d nach [5] und dessen Ergänzungen [6]. Die Bemessungswerte der Einwirkungen sind unter Berücksichtigung mit jedem relevanten Teil von [7] oder [8] und deren Ergänzungen [9] zu beurteilen.

Das nachfolgende Verfahren berücksichtigt die allgemeinen Regeln in [10] und deren Ergänzungen [11] und die in Teil 2 von [2] definierten Bemessungsregeln.

Dem CEN wurde eine Ergänzung zur Validierung und Aufnahme in den Eurocode vorgeschlagen. Diese Ergänzung ist im Anhang aufgeführt.

2. VORBEMESSUNG

2.1. Anwendungsbereich der neuen Bemessungsmethode

Diese Regeln stellen ein neues Bemessungsverfahren für Fassadenprofile mit Steckverbindungen [1] vor.

2.2. Technische Vorschriften

Die mindest Abmessungen der Stützen sind:

- Stahlstütze
 - o Minimale Breite: 40 mm
 - o Minimale Dicke: 1.5 mm
- Holzstütze
 - o Minimale Breite: 60 mm
 - o Minimale Höhe: 80 mm
- Betonstütze: nicht direkt erlaubt. Um die Ungleichmäßigkeit der Deckschicht auszugleichen, muss ein Sekundärrahmen aus Metall oder Holz eingebaut werden.

Die Eigenschaften der Schrauben sind:

- Für Stahlstützen
 - o Minimaler Durchmesser: 5.5 mm
 - o Minimale Länge: wie z.B. das Schraubengewinde durch die Stütze läuft
- Für Holzstützen
 - o Minimaler Durchmesser: 6.3 mm
 - o Minimale Länge: die Verankerungslänge beträgt mindestens 50mm

Die Befestigungsdichte beträgt: 1 Schraube pro Träger pro Profil.

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Die Fassadenprofile mit Steckverbindungen sind nach der Norm [1] CE-gekennzeichnet.

4. MATERIALEIGENSCHAFTEN

Die in der Berechnung verwendeten Materialeigenschaften müssen, wenn nicht weiter angegeben, den in Abschnitt 3 von [2] definierten Anforderungen entsprechen.

5. BEMESSUNGSMETHODE

5.1. Grundlagen

Die Methode basiert auf der bereits in [2] enthaltenen Berechnungsmethode für die Bemessung von Kassettenprofilen. Die Methode wird durch ein zusätzliches Kriterium ergänzt, das die mögliche Verschiebung der Fugenkante berücksichtigt.

Die neue Bemessungsmethode kann zur Ermittlung verwendet werden von:

- Momententragfähigkeit bei Druckbeanspruchung im breitem Gurt
- Momententragfähigkeit bei Zugbeanspruchung im breitem Gurt
- Beanspruchbarkeit der Stege am Endauflager
- Widerstand gegen die Verschiebung der Fugenkante

5.2. Anwendungsbereich der neuen Bemessungsmethode

Das folgende Bemessungsverfahren kann zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Fassadenprofilen verwendet werden, sofern die geometrischen Eigenschaften innerhalb des unten angegebenen Bereichs liegen:

0.75 mm	\leq	t_{nom}	\leq	1.00 mm
		b_f	\leq	40 mm
25 mm	\leq	h	\leq	30 mm
		b_u	\leq	300 mm
		φ	\leq	60°
11 mm	\leq	c_f		

Die Definitionen der Bezeichnungen finden Sie in Abbildung 0.1.

Die ermittelten Bemessungswiderstandswerte sind nur im Vergleich zu gleichmäßigen Lasteinwirkungen, hauptsächlich Windlasten, relevant.

5.3. Bemessungsverfahren

5.3.1. Momenttragfähigkeit bei Druckbeanspruchung im breiten Gurt

Nach [12] und dessen Änderung [13] ist der wirksame Teil des breiten Gurtes (gleichmäßig gedrücktes Element):

$$b_{u,eff} = \rho_u \cdot b_u$$

Aus dieser wirksamen Breite des breiten Gurtes $b_{u,eff}$ und den voll wirksamen Stegen und schmalen Gurten ermitteln wir den Schwerpunkt des Profils (s. Abbildung 5.1).

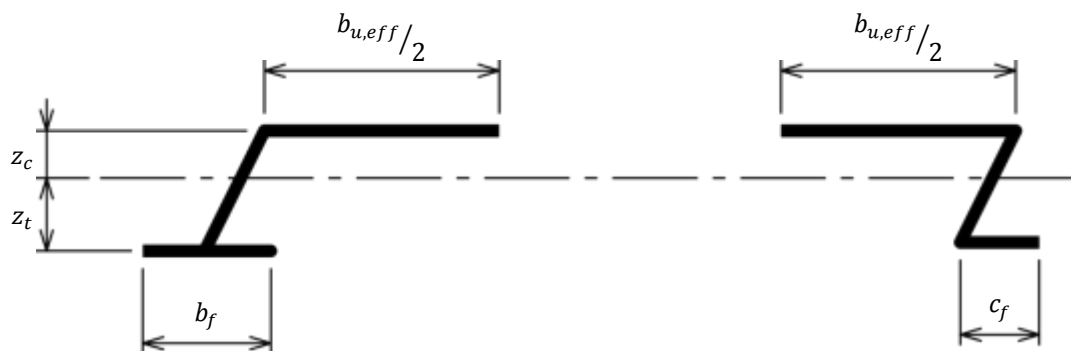


Abbildung 5.1 - Schwerpunkt des Querschnitts unter Berücksichtigung der effektiven Breiten des breiten Gurtes

Die effektive Höhe vom gedrückten Steg (s. Abbildung 5.2) gemäß [12] und deren Änderung [13] ist:

$$h_{eff} = \rho_w \cdot z_c$$

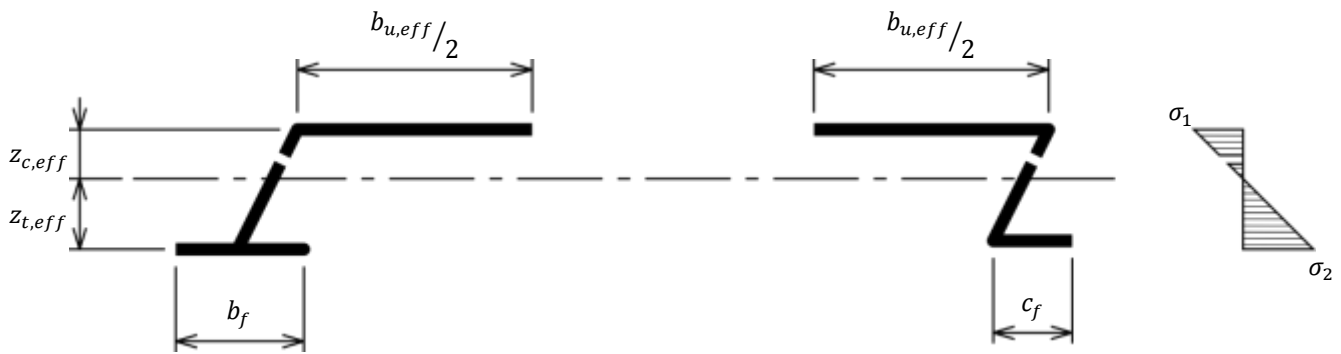


Abbildung 5.2 - Schwerpunkt des effektiven Querschnitts und entsprechende Spannungsverteilung

Die Momenten Tragfähigkeit wird also unter Berücksichtigung des wirksamen Steges und des breiten Gurtes nach der Formel (10.19) von [2] bestimmt:

$$M_{c,Rd} = W_{eff} \cdot \frac{0,8 \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

Mit:

$$W_{eff} = \frac{I_{y,eff}}{\max(z_{c,eff}; z_{t,eff})}$$

Anmerkung

Es wurde Die Änderung vorgeschlagen den Faktor 0,8 in einer weiteren Version des Eurocodes zu streichen. Sobald diese Änderung veröffentlicht wird, kann der Faktor 0,8 auch aus der obigen Formel $M_{c,Rd}$ entfernt werden.

5.3.2. Momenten Tragfähigkeit bei Zugbeanspruchung im breiten Gurt

Gemäß Kapitel 10.2.2.2(1) von [2] wird der Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts bestimmt. Die Nutzbreite des breiten Gurtes wird unter Berücksichtigung des Schwerpunktes des Bruttoquerschnitts (s. Abbildung 5.3) e_0 berechnet:

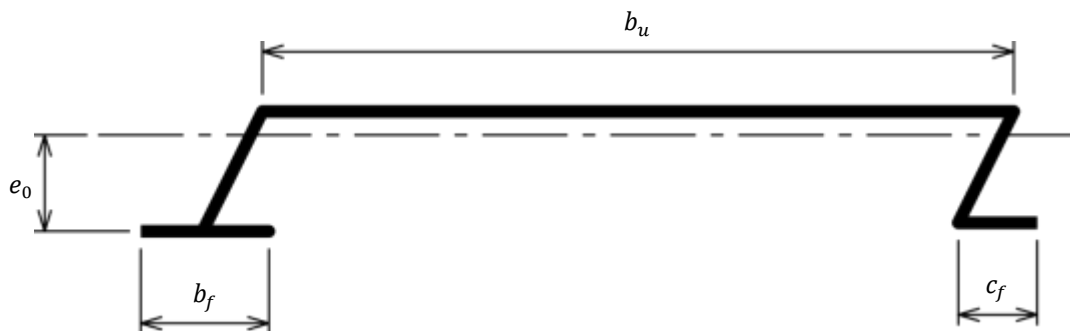


Abbildung 5.3 - Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts

Die effektive Breite des breiten Gurtes wird daher nach folgender Formel berechnet:

$$b_{u,eff} = \frac{53,3 \cdot 10^{10} \cdot e_0^2 \cdot t^4}{h \cdot L \cdot b_u^3}$$

Die wirksamen Breiten der schmalen Gurte werden nach [12] und deren Änderung [13] als besonders gleichmäßig gedrückte Elemente bewertet:

$$\begin{cases} b_{f,eff} = \rho_b \cdot b_f \\ c_{f,eff} = \rho_c \cdot c_f \end{cases}$$

Aus den effektiven Breiten der Gurte $b_{u,eff}$, $b_{f,eff}$, $c_{f,eff}$ und der voll wirksamen Breite des Steges wird der Schwerpunkt des Querschnitts ermittelt (s. Abbildung 5.4)

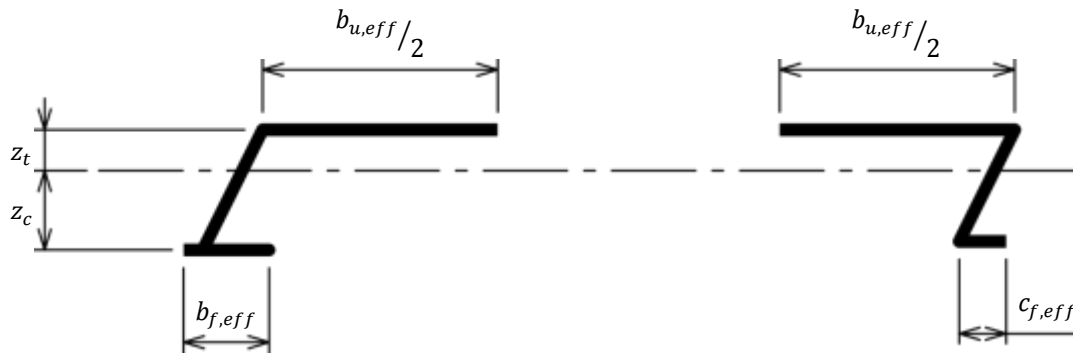


Abbildung 5.4 - Schwerpunkt des Querschnitts unter Berücksichtigung der wirksamen Breite der Gurte

Nach wie vor ist der wirksame, gedrückte Teil des Steges (s. Abbildung 5.5) entsprechend [12] und deren Änderung [13]:

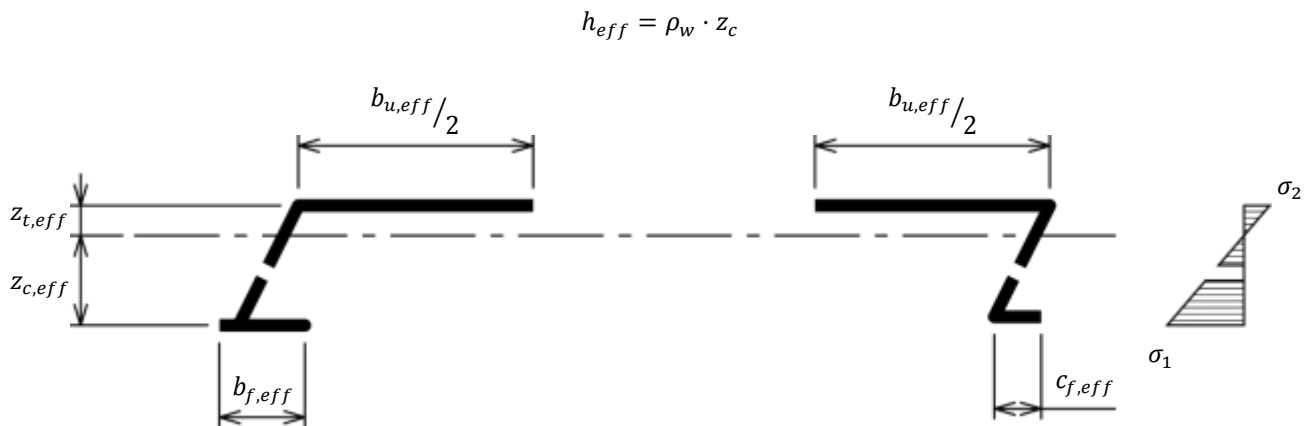


Abbildung 5.5 - Schwerpunkt des effektiven Querschnitts und entsprechende Spannungsverteilung

Die Momenten Tragfähigkeit wird also wie bisher unter Berücksichtigung der wirksamen Breiten der Stege und der Gurte nach der Formel (10.19) von [2] ermittelt:

$$M_{b,Rd} = W_{eff} \cdot \frac{0,8 \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

Mit:

$$W_{eff} = \frac{I_{y,eff}}{\max(z_{c,eff}; z_{t,eff})}$$

Anmerkung

Es wurde Die Änderung vorgeschlagen den Faktor 0,8 in einer weiteren Version des Eurocodes zu streichen. Sobald diese Änderung veröffentlicht wird, kann der Faktor 0,8 auch aus der obigen Formel $M_{c,Rd}$ entfernt werden.

5.3.3. Beanspruchbarkeit der Stege am Endauflager

Gemäß Kapitel 6.1.7.3(2) von [2] wird die Beanspruchbarkeit eines Steges am Endauflager bestimmt durch:

$$R_{w,Rd} = \frac{\alpha \cdot t^2 \cdot \sqrt{f_{yb} \cdot E} \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}\right) \cdot \left(0,5 + \sqrt{0,02 \cdot \frac{l_a}{t}}\right) \cdot \left[2,4 + \left(\frac{\varphi}{90}\right)^2\right]}{\gamma_{M1}}$$

Mit:

- $\alpha = 0.115$ (neuer in der Änderung vorgeschlagener Wert)
- $l_a = 10 \text{ mm}$

Für die Bezeichnungen s. **Abbildung 0.1**.

5.3.4. Widerstand gegen die Verschiebung der Fugenkante

Zur Berechnung des Widerstandes gegen die Verschiebung der Fugenkante ist folgendes zu ermitteln:

$$q_{Ra} = 2 \cdot \frac{E \cdot 1000 \cdot t^3 \cdot \delta_{lim}}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot b_f^3}{3}\right)^2 + \left[b_f \cdot \left(\frac{b_u \cdot h}{3} + \frac{h^2}{2}\right)\right]^2}} \cdot \frac{1000}{b_u}$$

Mit :

$$\delta_{lim} = \begin{cases} c_f & \text{für Klemmverbindungen} \\ \frac{h}{2 \cdot \tan \varphi} & \text{für Chevronverbindungen} \end{cases}$$

Für die Bezeichnungen s. Abbildung 0.1.

6. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN

Die folgenden Punkte werden in diesen Regeln nicht behandelt:

- Brandverhalten
- Erdbebensicherheit - Seismische Bemessung
- Umweltaspekte
- Thermische Aspekte
- Akustische Aspekte
- Jedes andere Subjekt, das nicht eindeutig höher oder niedriger gekennzeichnet ist.

7. BERECHNUNGSBEISPIEL

7.1. Abmessungen des Gebäudes und Einwirkungen

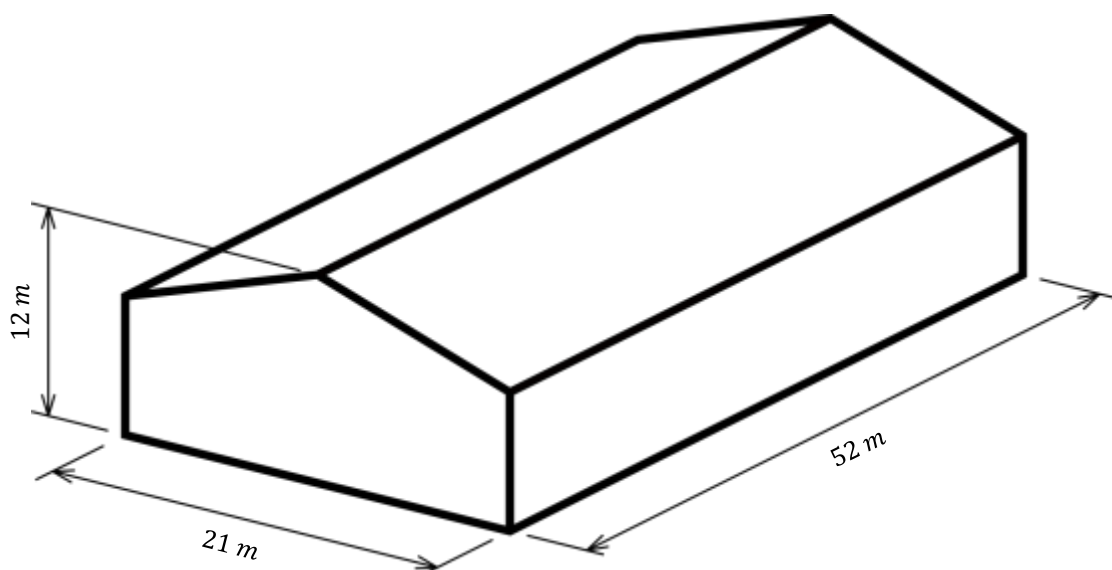


Abbildung 7.1 - Abmessungen des Gebäudes

Es wird nur die Windbelastung berücksichtigt:

Bemessungswerte (W):

Geschwindigkeitsdruck:

$$q_p = 456 \text{ N/m}^2$$

Druckbeiwerte:

$$\text{Außendruck } c_{pe} = +0.7$$

$$\text{Außensog } c_{pe} = -1.2$$

$$\text{Innendruck } c_{pi} = \pm 0.3$$

Kombinationen

Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS):

$$1.5 \times W$$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS):

$$W$$

Durchbiegungskriterien im SLS: $L/200$

7.2. Annahmen

7.2.1. Anordnung

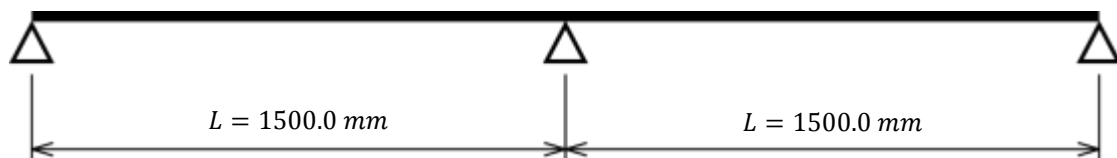


Abbildung 7.2 - Statisches System der Profile

7.2.2. Profilgeometrie

Das verwendete Profil ist das Folgende:

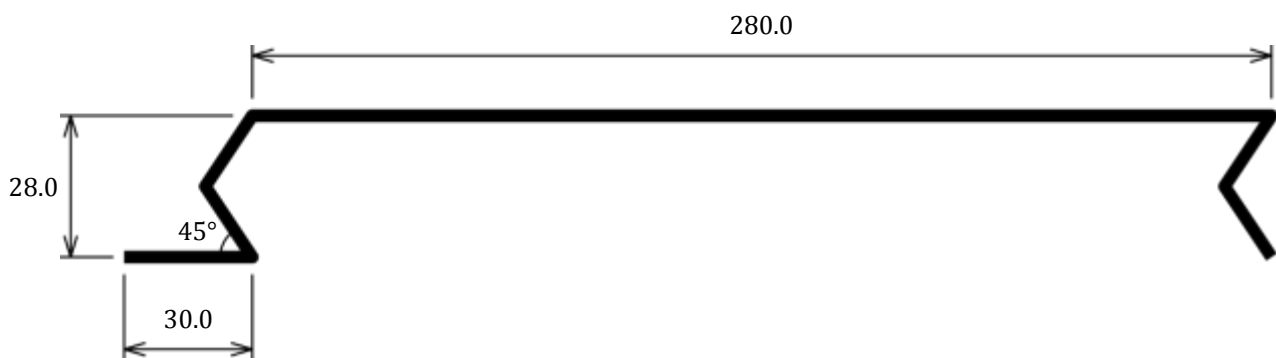


Abbildung 7.3 - Geometrie des zu bemessenden Profils

Abmessungen:

$$b_u = 280.0 \text{ mm}$$

$$h = 28.0 \text{ mm}$$

$$b_f = 30.0 \text{ mm}$$

$$\varphi = 45^\circ$$

7.2.3. Materialeigenschaften

Allgemein:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu = 0,3$$

Profileigenschaften:

Stahlgüte: S320

$$f_{yb} = 320 \text{ N/mm}^2$$

$$t_{nom} = 0,75 \text{ mm}$$

$$t = 0,71 \text{ mm}$$

7.3. Berechnung der Widerstandswerte des Profils

7.3.1. Anwendungsbereich des Profils

$$0,75 \text{ mm} \leq t_{nom} = 0,75 \text{ mm} < 1,00 \text{ mm}$$

$$b_f = 30,0 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < h = 28,0 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$$

$$b_u = 280,0 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

$$\varphi = 45^\circ < 60^\circ$$

Die Geometrie des Profils liegt im Anwendungsbereich des Bemessungsverfahrens.

7.3.2. Widerstand gegen die Verschiebung der Fugenkante

$$\delta_{lim} = \frac{28,0}{2 \cdot \tan 45} = 14,0 \text{ mm}$$

$$q_{Rd} = 2 \cdot \frac{210000 \times 1000 \times 0,71^3 \times 14,0}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \times 30,0^3}{3}\right)^2 + \left[30,0 \cdot \left(\frac{280,0 \times 28,0}{3} + \frac{28,0^2}{2}\right)\right]^2}} \cdot \frac{1000}{280,0}$$

$$= 7486 \text{ N/m}^2$$

7.3.3. Momentragfähigkeit bei Druckbeanspruchung

Unter Druckbelastung ist der breite Gurt unter Druck.

Schritt 1: Nutzbreite des breiten Gurtes (gleichmäßig gedrückt)

Nach Tabelle 4.1 von [12] und deren Änderung [13] gilt:

$$k_\sigma = 4,0$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{320}} = 0,857$$

$$\bar{\lambda}_{p,u} = \frac{280,0/0,71}{28,4 \times 0,857 \times \sqrt{4,0}} = 8,102 > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \times 1} = 0,673$$

$$\rho_u = \frac{8,102 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{8,102^2} = 0,120$$

$$\frac{b_{u,eff}}{2} = \frac{0,120 \times 280,0}{2} = 16,8 \text{ mm}$$

Schritt 2: Berechnung von z_c und z_t

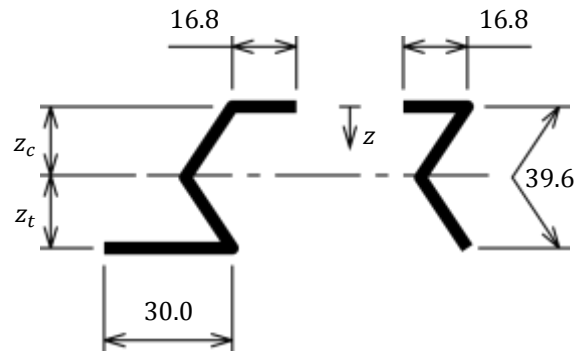


Abbildung 7.4 - Berechnung von z_c (breiter Gurt unter Druck)

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²
Linker Rand (fest)	16.8	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
	30.0	28.0	840.00
Rechter Rand (frei)	16.8	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
Σ	142.8	-	1948.80

$$z_c = \frac{1948.80}{142.8} = 13.6 \text{ mm}$$

$$z_t = 28.0 - 13.6 = 14.4 \text{ mm}$$

Schritt 3: Wirksamkeit des Steges

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{14.4}{13.6} = -1.059$$

$$k_\sigma = 5.98 \cdot (1 + 1.059)^2 = 25.35$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{28.0 / 0.71}{28.4 \times 0.857 \times \sqrt{25.35}} = 0.322 < 0.673$$

$$\rho_w = 1.0$$

Der Steg ist voll wirksam.

Schritt 4: Berechnung von $M_{b,Rd,c}$

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²	$l \cdot z^2$ mm ³	I_{part}/t mm ³
Linker Rand (fest)	16.8	0.0	0.00	0.000	0.706
	39.6	14.0	554.40	7761.600	2587.200
	30.0	28.0	840.00	23520.000	1.260
Rechter Rand (frei)	16.8	0.0	0.00	0.000	0.706
	39.6	14.0	554.40	7761.600	2587.200
Σ	142.8	-	1948.80	39043.200	5174.400

$$z_{c,eff} = \frac{1948.80}{142.8} = 13.6 \text{ mm}$$

$$z_{t,eff} = 28.0 - 13.6 = 14.4 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} = (39043.200 + 5174.400 - 142.8 \times 13.6^2) \cdot 0.71 \times \frac{1000.0}{280.0} = 45149 \text{ mm}^4/m$$

$$W_{eff} = \frac{45149}{\max(13.6; 14.4)} = 3135 \text{ mm}^3/m$$

$$M_{c,Rd} = (3135 \cdot 10^{-3}) \times \frac{0.8 \times 320}{1.0} = 802 \text{ N} \cdot m/m$$

7.3.4. Momentragfähigkeit bei Sogbeanspruchung

Bei Soglasten ist der breite Gurt unter Zug.

Schritt 1: Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts

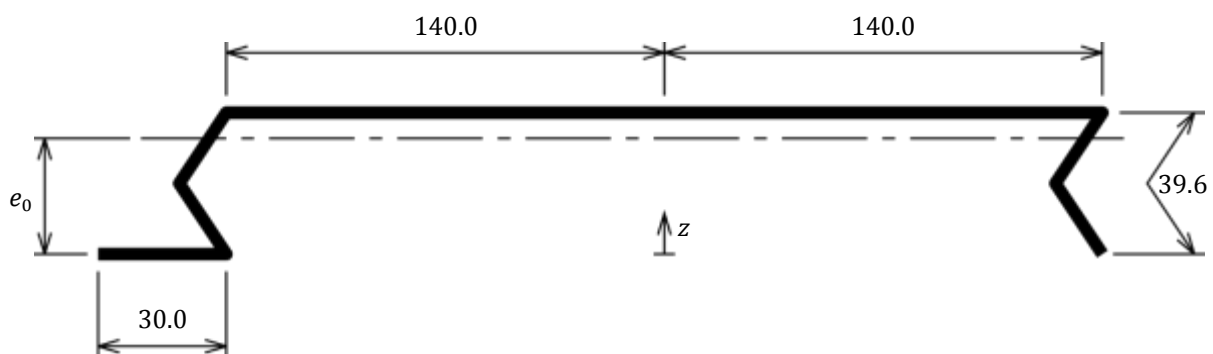


Abbildung 7.5 - Berechnung von e_0 (breiter Gurt unter Zug)

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²
Linker Rand (fest)	30.0	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
	140.0	28.0	3920.00
Rechter Rand (frei)	39.6	14.0	554.40
	140.0	28.0	3920.00
Σ	389.2	-	8948.80

$$e_0 = \frac{8948.80}{389.2} = 23.0 \text{ mm}$$

Schritt 2: Nutzbreite des breiten Gurtes

$$\frac{b_{u,eff}}{2} = \frac{53.3 \times 10^{10} \times 23.0^2 \times 0.71^4}{2 \times 28.0 \times 1500 \times 280.0^3} = 38.9 \text{ mm}$$

Schritt 3: Nutzbreite des schmalen Gurtes (gleichmäßig gedrückt)

Nach Tabelle 4.2 von [12] und deren Änderungen [13] gilt:

$$k_\sigma = 0.43$$

$$\bar{\lambda}_{p,b} = \frac{30.0/0.71}{28.4 \times 0.857 \times \sqrt{0.43}} = 2.647 > 0.748$$

$$\rho_b = \frac{2.647 - 0.188}{2.647^2} = 0.351$$

$$b_{f,eff} = 0.351 \times 30.0 = 10.5 \text{ mm}$$

Schritt 4: Berechnung von z_c und z_t

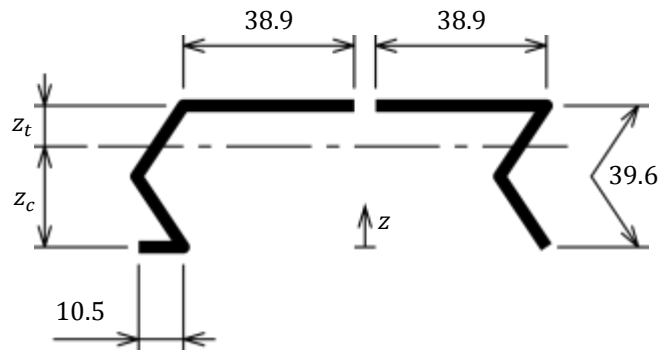


Abbildung 7.6 - Berechnung von z_c (breiter Gurt unter Zug)

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²
Linker Rand (fest)	10.5	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
	38.9	28.0	1089.20
Rechter Rand (frei)	39.6	14.0	554.40
	38.9	28.0	1089.20
Σ	167.5	-	3287.20

$$z_c = \frac{3287.20}{167.5} = 19.6 \text{ mm}$$

$$z_t = 28.0 - 19.6 = 8.4 \text{ mm}$$

Schritt 5: Wirksamkeit des Steges

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{8.4}{19.6} = -0.429$$

$$k_\sigma = 7.81 - 6.29 \times (-0.429) + 9.78 \times (-0.429)^2 = 12.31$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{28.0 / 0.71}{28.4 \times 0.857 \times \sqrt{12.31}} = 0.462 < 0.673$$

$$\rho_w = 1.0$$

Der Steg ist voll wirksam.

Schritt 6: Berechnung von $M_{b,Rd,c}$

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²	$l \cdot z^2$ mm ³	I_{part}/t mm ³
Linker Rand (fest)	10.5	0.0	0.00	0.000	-
	39.6	14.0	554.40	7761.600	2587.200
	38.9	28.0	1089.20	30497.600	-
Rechter Rand (frei)	39.6	14.0	554.40	7761.600	-
	38.9	28.0	1089.20	30497.600	2587.200
Σ	167.5	-	3287.20	76518.400	5174.400

$$z_{c,eff} = \frac{3287.20}{167.5} = 19.6 \text{ mm}$$

$$z_{t,eff} = 28.0 - 19.6 = 8.4 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} = (76518.400 + 5174.400 - 167.5 \times 19.6^2) \cdot 0.71 \times \frac{1000.0}{280.0} = 43985 \text{ mm}^4/m$$

$$W_{eff} = \frac{43985}{\max(19.6; 84)} = 2244 \text{ mm}^3/m$$

$$M_{b,Rd} = (2244 \cdot 10^{-3}) \times \frac{0.8 \times 320}{1.0} = 574 \text{ N} \cdot m/m$$

7.3.5. Beanspruchbarkeit der Stege am Endauflager

Jedes Profil hat zwei Stege, deshalb gilt:

$$R_{w,Rd} = 2 \cdot \frac{0.115 \cdot 0.71^2 \cdot \sqrt{320 \cdot 210000} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \sqrt{\frac{2.0}{0.71}}\right) \cdot \left(0.5 + \sqrt{0.02 \cdot \frac{10.0}{0.71}}\right) \cdot \left[2.4 + \left(\frac{45}{90}\right)^2\right]}{1.0} \cdot \frac{1000.0}{280.0}$$

$$= 7716 \text{ N/m}$$

7.4. Überprüfung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit

7.4.1. Lasten und Schnittgrößen

Unter Druck:

Windlast:

$$w_{p,ult} = 1.5 \cdot [0.7 - (-0.3)] \cdot 456 = 684 \text{ N/m}^2$$

Maximales Moment:

$$M_{Ed,p} = \frac{684 \times 1.500^2}{8} = 192 \text{ N} \cdot m$$

Reaktion am Endauflager:

$$R_{Ed,p} = \frac{(1.5 \times 456) \cdot 1.500}{2} = 513 \text{ N}$$

Unter Sog:

Windlast:

$$w_{s,ult} = 1.5 \cdot [-1.2 - 0.3] \cdot 456 = -1026 \text{ N/m}^2$$

Maximales Moment:

$$M_{Ed,s} = \frac{1026 \times 1.500^2}{8} = 289 \text{ N} \cdot m$$

Die Interaktionskriterien werden nicht überprüft, da sich die Zwischenstütze wie ein Gelenk verhält. (s. Abbildung 1.7).

7.4.2. Nachweise

Unter Druck:

Maximales Moment:

$$\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed,p}} = \frac{802}{289} = 2.78 > 1.0$$

Reaktion am Endauflager:

$$\frac{R_{w,Rd}}{R_{Ed,p}} = \frac{7716}{513} = 15.04 > 1.0$$

Unter Sog:

Windlast:

$$\frac{q_{Rd}}{w_{s,ult}} = \frac{7486}{1026} = 7.30 > 1.0$$

Maximales Moment:

$$\frac{M_{b,Rd}}{M_{Ed,s}} = \frac{574}{289} = 1.99 > 1.0$$

Die Tragfähigkeit der Befestigungsmittel muss ggf. nach Kapitel 8 von [2] überprüft werden.

Die Interaktionskriterien werden nicht überprüft, da sich die Zwischenstütze wie ein Gelenk verhält. (s. Abbildung 1.7).

7.5. Überprüfung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit

7.5.1. Lasten und Schnittgrößen

Unter Druck:

Windlast:

$$w_{p,ser} = [0.7 - (-0.3)] \cdot 456 = 456 \text{ N/m}^2$$

Maximale Durchbiegung:

$$\delta_p = \frac{456 \times 1.500^4}{192 \times 210000 \times 45149 \cdot 10^{-6}} = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Unter Sog:

Windlast:

$$w_{s,ser} = (-1.2 - 0.3) \cdot 456 = -684 \text{ N/m}^2$$

Maximale Durchbiegung:

$$\delta_s = \frac{684 \times 1.500^4}{192 \times 210000 \times 43985 \cdot 10^{-6}} = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

7.5.2. Nachweise

Unter Druck:

Maximale Durchbiegung:

$$\delta_p = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m} < \frac{1.500}{200} = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Unter Sog:

Windlast:

$$\frac{q_{Rd}}{w_{s,ult}} = \frac{7486}{684} = 10.94 > 1.0$$

Maximale Durchbiegung:

$$\delta_s = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ m} < \frac{1.500}{200} = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

7.6. Softwareüberprüfung

Eine Excel-Software ist auf der Website von GRISPE+ (www.grispeplus.eu) verfügbar. Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich der oben berechneten Werte mit den von der Software angegebenen Werten.

Wert	Manuelle Berechnung	Software Berechnung
$\frac{q_{Rd}}{\text{N/m}^2}$	7486	7486
$\frac{M_{c,Rd}}{\text{N} \cdot \text{m/m}}$	802	797
$\frac{M_{b,Rd}}{\text{N} \cdot \text{m/m}}$	574	567

$R_{w,Rd}$ N/m	7716	7716
---------------------	------	------

Die festzustellenden Unterschiede sind auf Rundungsfehlern bei Zwischenwerten zurückzuführen.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 0.1 - Geometrische Parameter eines Fassadenprofils 7

Abbildung 1.1 Chevronverbindung..... 8

Abbildung 1.2 Klemmverbindung..... 8

Abbildung 1.3 Verschiedene Fugenformen (nicht erschöpfend)..... 8

Abbildung 1.4 Stufenweise Verschiebung der Fugenkante unter Sogbelastung 9

Abbildung 1.5 - Versuchskörper in der Vakuumkammer positioniert (Druckbelastung) 9

Abbildung 1.6 - Erwartetes Verhalten bei Zweifeld-Biegeversuchen 10

Abbildung 1.7 - Beobachtetes Verhalten bei Zweifeld-Biegeversuchen 10

Abbildung 1.8 - Versagen der Gurtverbindungen durch lokales Beulen bei Einfeld-Biegeversuchen unter Sogbelastung 11

Abbildung 1.9 - Versagen bei Zweifeld-Biegeversuchen unter Sogbelastung durch Verschiebung der Fugenkante 11

Abbildung 5.1 - Schwerpunkt des Querschnitts unter Berücksichtigung der effektiven Breiten des breiten Gurtes..... 13

Abbildung 5.2 - Schwerpunkt des effektiven Querschnitts und entsprechende Spannungsverteilung 14

Abbildung 5.3 - Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts 14

Abbildung 5.4 - Schwerpunkt des Querschnitts unter Berücksichtigung der wirksamen Breite der Gurte..... 15

Abbildung 5.5 - Schwerpunkt des effektiven Querschnitts und entsprechende Spannungsverteilung 15

Abbildung 7.1 - Abmessungen des Gebäudes..... 16

Abbildung 7.2 - Statisches System der Profile..... 17

Abbildung 7.3 - Geometrie des zu bemessenden Profils..... 17

Abbildung 7.4 - Berechnung von z_c (breiter Gurt unter Druck) 19

Abbildung 7.5 - Berechnung von e_0 (breiter Gurt unter Zug)..... 20

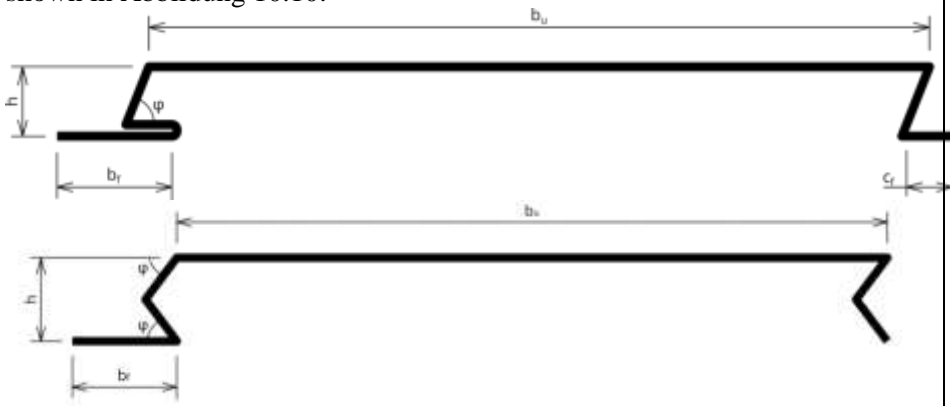
Abbildung 7.6 - Berechnung von z_c (breiter Gurt unter Zug)..... 21

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] CEN, EN 14782:2006 – Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements, Brussels, 2006.
- [2] CEN, EN 1993-1-3:2006 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting, Brussels, 2006.
- [3] C. FAUTH, GRISPE – WP4: Calculation method for cladding systems – D 4.3 Test report, 2016.
- [4] M. BLANC, GRISPE – WP4: Calculation method for cladding systems – D4.4 Test analysis and interpretation, 2016.
- [5] CEN, EN 1990:2002 – Eurocode – Basis of structural design, Brussels, 2002.
- [6] CEN, EN 1990:2002/A1:2005 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1, Brussels, 2005.
- [7] CEN, EN 1991-1-1:2002 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2002.
- [8] CEN, EN 1991-1-4:2005 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions.
- [9] CEN, EN 1991-1-4:2005/A1:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Amendment A1.
- [10] CEN, EN 1993-1-1:2005 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [11] CEN, EN 1993-1-1:2005/A1:2014 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings – Amendment A1, Brussels, 2014.
- [12] CEN, EN 1993-1-5:2006 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements, Brussels, 2006.
- [13] CEN, EN 1993-1-5:2006/A1:2017 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements – Amendment A1.

ANHANG:

ÄNDERUNGSVORSCHLAG BEI CEN EINGEREICHT

AM-1-3-2013-60	
Thema	Plank profiles
Absatz Nr. / Unterabschnitt Nr. / Anhang	Clauses 6.1.7.3 (5), Section 10.2
Grund für die Änderung	The plank profiles are often used but the information is not provided in the EN 1993-1-3 as to the design rules for this type of profiles.
Vorgeschlagene Änderung	<p>The current clause 6.1.7.3 (5) states: (5) The value of the coefficient α should be obtained from the following:</p> <p style="margin-left: 20px;">a) for Category 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,075$... (6.20) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,057$... (6.20) <p style="margin-left: 20px;">b) for Category 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,15$... (6.20) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,115$... (6.20) <p>Replace the current clause with: (5) The value of the coefficient α should be obtained from the following:</p> <p style="margin-left: 20px;">a) for Category 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,075$... (6.20) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,057$... (6.20) - for plank profiles: $\alpha = 0,115$... (6.20) <p style="margin-left: 20px;">b) for Category 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,15$... (6.20) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,115$... (6.20) - for plank profiles: $\alpha = 0,115$... (6.20) <p>The current title of the section 10.2 is : 10.2 Liner trays restrained by sheeting Replace the current title with : 10.2 Liner trays restrained by sheeting and plank profiles Add the following sentence and Abbildung to the clause 10.2.1 (1): Plank profiles should be large channel type section with two webs and a flat wide flange. The joint between planks can be a clip one or chevron shaped as shown in Abbildung 10.10.</p>  <p style="text-align: center;">Abbildung 10.10: Typical geometry for plank profiles</p>

Renumber the remaining **Abbildungen**

The current clause 10.2.1 (2) states:

(2) The resistance of the webs of liner trays to shear forces and to local transverse forces should be obtained using 6.1.5 to 6.1.11, but using the value of $M_{c,Rd}$ given by (3) or (4).

Replace the clause 10.2.1 (2) with:

(2) The resistance of the webs of liner trays and plank profiles to shear forces and to local transverse forces should be obtained using 6.1.5 to 6.1.11, but using the value of $M_{c,Rd}$ given by (3) or (4).

Add in the current clause 10.2.1 (3):

The moment resistance $M_{c,Rd}$ of a plank profile may be obtained using 10.2.2 provided that the geometrical properties are within the range given in table 10.7

Table 10.7: Range of validity for plank profiles

$0,75 \text{ mm} \leq t_{\text{nom}} \leq 1 \text{ mm}$
$25 \text{ mm} \leq b_f \leq 40 \text{ mm}$
$25 \text{ mm} \leq h \leq 30 \text{ mm}$
$11 \text{ mm} \leq b_u \leq 300 \text{ mm}$
$\varphi \leq 60^\circ$
$11 \text{ mm} \leq c_f$

The current clause 10.2.1 (4) states:

(4) Alternatively the moment resistance of a liner tray may be determined by testing provided that it is ensured that the local behaviour of the liner tray is not affected by the testing equipment.

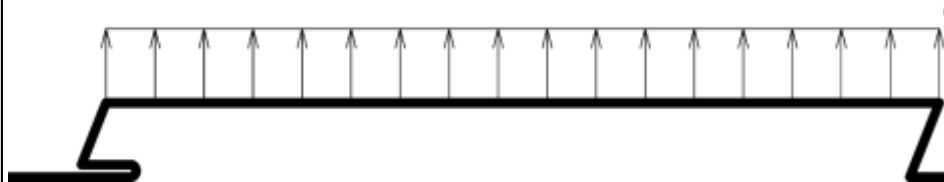
Change the clause 10.2.1 (4) with:

(2) Alternatively the moment resistance of a liner tray or plank profile may be determined by testing provided that it is ensured that the local behaviour of the liner tray or plank profile is not affected by the testing equipment.

Add the following new section :

10.2.3 Non dislocation of the joint for plank profiles

(1) Dislocation of the joints is a particular failure mode for plank profiles when solicited in suction



(2) To prevent the dislocation of the joint of plank profile, it must be verified :

$$q_{Ed} \text{ (kN/m}^2\text{)} \leq q_{Rd} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(3) The load resistance regarding joint dislocation of a plank profile is :

$$q_{Rd} = \frac{0,8 \cdot 2 \cdot E \cdot 1000 \cdot t^3 \cdot \delta_{lim}}{b_u \cdot \left(12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot b_f^3}{3}\right)^2 + \left[b_f \cdot \left(\frac{b_u \cdot h}{3} + \frac{h^2}{2}\right)\right]^2} \right)}$$

Where:

– For clip joint:

$$\delta_{lim} = c_f$$

– For chevron shaped joint:

$$\delta_{lim} = \frac{h}{2 \cdot \tan \varphi}$$

Hintergrundinformationen

D4.5 – Background guidance for EN 1993-1-3
 Proposal from M. Blanc, T. Renaux, and D. Izabel