

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP Nr.: 3

WP Titel: E-Lectures

Deliverable Nr.: 3.1

Titel: Verbunddeckenprofile mit äußeren Steifen

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)

Sokol Palisson Consultants, Anna Palisson

Zeichnungshistorie

ENTWURF Nr. 1

ENDFASSUNG – Datum: 31. 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.

INHALTSVERZEICHNIS

TEIL 1: BEMESSUNGSREGELN FÜR VERBUNDDECKENPROFILE MIT ÄUßEREN STEIFEN.....	2
1. EINLEITUNG	6
1.1. Art der Profilbleche.....	6
1.2. Stand der Technik vor GRISPE	6
1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE	6
1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln	7
2. VORBEMESSUNG	8
2.1. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens	8
2.2. Technologische Anordnungen der Profilbleche.....	8
2.2.1. Profilformen	8
2.2.2. Querschnittsabmessungen	8
3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN	9
4. MATERIALEIGENSCHAFTEN	9
5. EINWIRKUNGEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN	9
6. BEMESSUNGSGRUNDLAGE	9
6.1. Grundlagen	9
6.2. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens.....	9
6.3. Bemessungsverfahren	9
6.3.1. Momenttragfähigkeit bei Druckbeanspruchung im breiten Gurt Erreur ! Signet non défini.	
6.3.2. Momententragfähigkeit bei Zugbeanspruchung im breiten Gurt Erreur ! Signet non défini.	
7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN	10
8. BERECHNUNGSBEISPIEL	10
8.1. Erläuterung der Software zur Berechnung der "Äußeren Steifen"	10
LITERATUR	17
ANHANG	18
TEIL 2: BEMESSUNGSBEISPIEL FÜR VERBUNDDECKENPROFILE MIT ÄUßEREN STEIFEN.....	20
1. EINLEITUNG	25
1.1. Profilquerschnitt.....	25
1.2. Angaben zum Profil	26
2. BERECHNUNG DER BRUTTOGESAMTFLÄCHE a_g	27
3. BERECHNUNG DER WIRKSAMEN QUERSCHNITTSFLÄCHE a_{eff}	28
3.1. Schrit 1.....	28
3.2. Iteration: Nächster Schritt.....	32
4. BERECHNUNG DER MOMENTENTRAGFÄHIGKEIT.....	34
ANHANG 1.....	35

TEIL 1: BEMESSUNGSREGELN FÜR VERBUNDDECKENPROFILE MIT ÄUßEREN STEIFEN

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Bemessungsregeln ist es, ein neue Bemessungsverfahren für Verbunddeckenprofile mit äußeren Aussteifungen, wie sie im europäischen Projekt GRISPE PLUS entwickelt wurde, vorzustellen.

Die Regeln basieren auf den Grundsätzen des Eurocodes im Allgemeinen und den Eurocodes EN 1993-1-3 und EN 1993-1-5 im Speziellen.

Dieses neue Bemessungsverfahren basiert auf Versuchen, die im Rahmen des europäischen Projekts GRISPE (2013-2016) durchgeführt wurden.

Der Hintergrund dieser Methode ist in Anhang 1 beschrieben.

In Kapitel 1 werden die Art der Profile, der Stand der Technik, die wichtigsten Forschungsergebnisse von GRISPE sowie die allgemeinen Gestaltungsanforderungen und -regeln beschrieben;

In Kapitel 2 werden die Vorüberlegungen, die während der Vorentwurfsphase zu berücksichtigen sind, und insbesondere die Überprüfung des Anwendungsbereichs der neuen Entwurfsmethode beschrieben;

In Kapitel 3 sind die zu beachtenden technologischen Anforderungen einschließlich Tragrahmen, Profileigenschaften und Baugruppen aufgeführt;

In Kapitel 4 werden die Materialeigenschaften der Profile aufgelistet;

In Kapitel 5 werden Einwirkungen und Lastfallkombinationen festgelegt;

In Kapitel 6 wird die Grundlage des Entwurfs vorgegeben;

In Kapitel 7 werden die spezifischen, nicht in den Regeln behandelten, Bemessungsaspekte aufgelistet.

In Kapitel 8 wird die neue Entwurfsmethode (Prinzipien, Anwendungsbereich und Beschreibung der Anwendung der neuen Formeln) detailliert erläutert.

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 wurde 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

Korrespondierende Mitglieder wurden aufgenommen:

Léopold SOKOL	Frankreich
---------------	------------

ABBILDUNGEN

Die Abbildungen wurden von folgenden Firmen hergestellt:

- Abbildung 1.1.1 – TATA STEEL CONSTRUCTION
- Abbildung 1.3.1 - Sokol Palisson Consultants
- Abbildung 1.3.2 - Sokol Palisson Consultants
- Abbildung 6.2.1 - Sokol Palisson Consultants
- Abbildung 6.3.2.1 - Kopie aus EN 1993-1-3
- Abbildung 8.1.1 - Sokol Palisson Consultants
- Abbildung 8.1.2 - Sokol Palisson Consultants
- Abbildung 8.1.3 – Kopie aus EN 1993-1-3
- Abbildung 8.2.1 - Sokol Palisson Consultants
- Abbildung 8.2.2 – Kopie aus EN 1993-1-3
- Abbildung 8.2.3 – Kopie aus EN 1993-1-3

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, das neue Bemessungsverfahren für Verbunddeckenprofile mit äußeren Steifen 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:

t : Bemessungsdicke

t_{nom} : Nennblechdicke

t_{eff} : Wirksame Dicke

h_w : Profilhöhe

f_{yb} : Streckgrenze

E : E-Modul

t_{red} : Reduzierte Dicke

b_{pi} : Nennwert der geraden Breite

$b_{i,\text{eff}}$: Wirksame Breite

A_g : Bruttoquerschnittsfläche

A_{eff} : Wirksame Fläche

z_G : Lage der neutralen Achse

σ_{xx} : Spannung

χ_d : Abminderungsfaktor für Forminstabilität

$M_{c,Rd}$: Momententragfähigkeit

M_{span} : Momententragfähigkeit im Feld

e_c : Höhe der Druckzone bis zur neutralen Achse

s_n : Breite des Steges in der Druckzone bis zur neutralen Achse

s_{eff} : Wirksame Breite des Steges

W_{eff} : Wirksames Widerstandsmoment

1. EINLEITUNG

1.1. Art der Profilbleche

Diese Bemessungsregeln befassen sich mit Verbunddeckenprofilen mit äußeren Steifen.

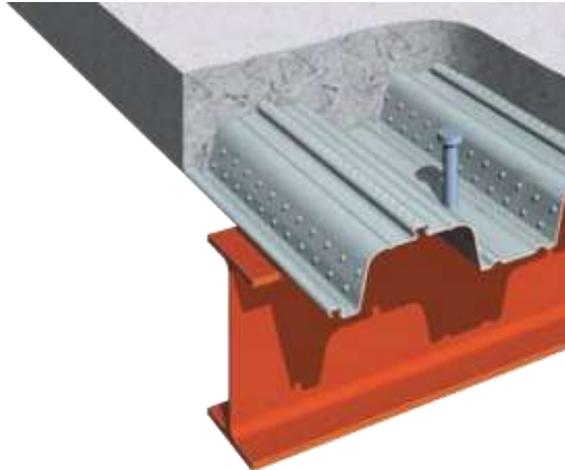


Abbildung 1.1.1 Verbunddeckenprofile mit äußeren Steifen

1.2. Stand der Technik vor GRISPE

Verbunddeckenprofile mit einer Vielzahl an Profilierungen unterschiedlicher Tiefe sind zu einem wesentlichen Konstruktionselement für Dächer und Böden geworden. Es ist oft ein bevorzugtes Material für den Innenausbau, gewerbliche und industrielle Sanierungen und für das Baugewerbe im Allgemeinen, da es robust, leicht und wartungsarm ist. Um den Schubverbund zwischen dem Stahl und dem Beton in den Verbundplatten zu erhöhen, sind die Verbunddeckenprofile mit nach außen gerichteten Steifen in den oberen Gurten versehen.

Diese Art von Profilen wurde im Laufe der Jahre optimiert und viele neue Formen sind auf den Markt gekommen.

In der Bauphase, in der die als Schalung verwendeten Bleche das Frischbetongewicht und die Baulasten tragen müssen, erlaubt keine vorhandene Studie die Berechnung der Momententragfähigkeit von Stahlblechen mit dieser Art von Steifen.

In der EN 1994-1 für die Bemessung des Profils in Verbundbauweise wird eine Verbindung zur EN 1993-1-3 hergestellt.

EN 1993-1-3 behandelt in Abschnitt 1.5.1 (4) die Querschnittsform, jedoch werden in Abschnitt 1.5.2 "Formen der Längsaussteifungen" die Profile mit äußeren Steifen im Obergurt nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aufgrund der aktuellen Version des Eurocodes die einzige Möglichkeit für die Hersteller die Art der Profile zu bemessen darin besteht, teure und zeitintensive Versuche durchzuführen.

1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE

Zur Bestimmung der Momententragfähigkeit von Verbunddeckenprofilen mit Steifen wurde eine Versuchsreihe an Einfeldträgern nach EN 1993-1-3 Anhang A an Stahltrapezblechen mit Aussteifungen durchgeführt (Bild 1.3.1; Bild 1.3.2).

Basierend auf diesen Versuchsergebnissen und Analysen wurde ein innovatives Entwurfsmodell entwickelt und validiert, um die Momententragfähigkeit in Feldmitte eines Profils mit Steifen zu bestimmen.



Abbildung 1.3.1 – Prüfung eines Einfeldträgers



Abbildung 1.3.2 - Versagensform

1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln

- (1) Die Bemessung von Verbunddeckenprofilen mit äußeren Steifen sollte den allgemeinen Regeln der EN 1993-1-1 entsprechen.
- (2) Für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nach EN 1993-1-3 sind geeignete Teilsicherheitsbeiwerte festzulegen.

2. VORBEMESSUNG

2.1. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens

In diesen Bemessungsregeln werden die Anforderungen an die Konstruktion von Verbunddeckenprofilen mit äußeren Steifen festgelegt.

Die Ausführung von Stahlkonstruktionen aus Trapezprofilblechen ist in der EN 1090 geregelt.

In diesen Bemessungsregeln werden die Bemessungsverfahren beschrieben. Diese Verfahren gelten innerhalb der angegebenen Bereiche von Materialeigenschaften und geometrischen Abmessungen.

Diese Regeln beziehen sich nicht auf die Lastanordnung für Lasten während der Ausführung und Wartung.

Die in diesen Bemessungsregeln angegebenen Berechnungsverfahren sind nur gültig, wenn die Toleranzen der kaltgeformten Profile der EN 1993-1-3 entsprechen.

2.2. Technologische Anordnungen der Profilbleche

2.2.1. Profilformen

- (1) Profiltafeln haben innerhalb der zulässigen Toleranzen eine konstante Nenndicke über ihre gesamte Länge und können entweder einen gleichmäßigen Querschnitt oder einen spitz zulaufenden Querschnitt über ihre Länge haben.
- (2) Die Querschnitte von Profiltafeln bestehen im Wesentlichen aus mehreren ebenen Elementen, die durch gebogene Elemente verbunden sind.
- (3) Querschnitte von Blechen können entweder unversteift sein oder Längsversteifungen in ihren Stegen enthalten.

2.2.2. Querschnittsabmessungen

Die Querschnittsabmessungen sollten den allgemeinen Anforderungen der EN 1993-1-3, Abschnitt 1.5.3 entsprechen.

- (1) Die Bemessungsdicke t ist eine Stahlkonstruktionsdicke (die gemessene Stahlkerndicke minus Toleranz, falls erforderlich, gemäß Abschnitt 3.2.4 der EN 1993-1-3), sofern nicht anders angegeben
- (2) Das Bemessungsverfahren sollte nicht auf Querschnitte außerhalb des in der Tabelle 5.1 der EN 1993-1-3 angegebenen Bereichs der Breiten-/Dickenverhältnisse b/t , h/t , c/t und d/t angewendet werden
- (3)

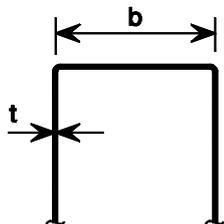
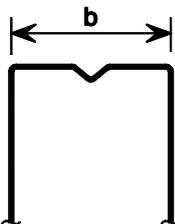
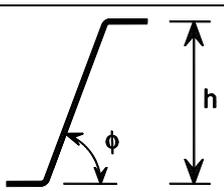
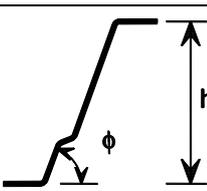
		$b/t \leq 500$
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

Tabelle 2.2.2.1 - Überprüfung der geometrischen Abmessungen

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Profilblech und CE-Kennzeichnung

Stahlprofilbleche sind nach der Norm EN 1090-1 CE-gekennzeichnet.

4. MATERIALEIGENSCHAFTEN

Verbunddeckenprofil

Die Materialeigenschaften sollten den Anforderungen der EN 1993-1-3, Abschnitt 3 entsprechen.

Die üblichen Stahlsorten sind die Sorten S320GD + ZA und S350GD + ZA.

Die Dickentoleranzen sollten den Anforderungen der EN 1993-1-3, Abschnitt 3.2.4 entsprechen.

5. EINWIRKUNGEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN

Die zu berücksichtigenden Einwirkungen und Lastfallkombinationen sind nach EN 1991-1-6 Eurocode 1: "Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen, Einwirkungen während der Bauausführung" festzulegen.

6. BEMESSUNGSGRUNDLAGE

6.1. Grundlagen

Dieses neue Bemessungsverfahren dient zur Berechnung der Momententragfähigkeit von Profilen mit nach außen gerichteten Steifen.

6.2. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens

Dieses neue Bemessungsverfahren ist für Profile mit äußeren Steifen vorgesehen (Abbildung 6.2.1).

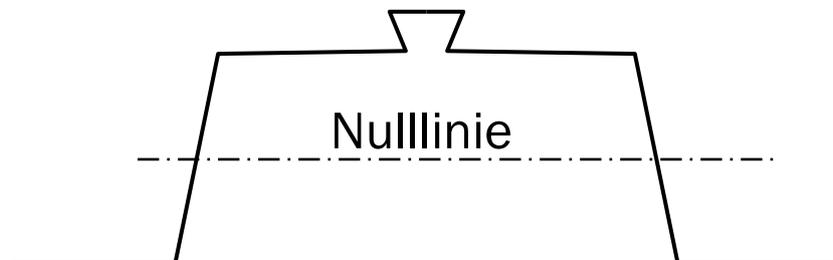


Abbildung 6.2.1 – Profil mit äußeren Steifen

6.3. Bemessungsverfahren

6.3.1. Wirksamer Querschnitt von Verbunddeckenprofilen mit äußeren Aussteifungen

- (1) Die wirksame Breite ist nach EN 1993-1-3 Kapitel 5.5.1 (2) zu berechnen.
- (2) Bei Zwischenaussteifungen, die nach außen zum oberen Gurt zeigen, ist die Spannung in der Steife gleich der Spannung im Gurt anzunehmen.

6.3.2. Momententragfähigkeit von Verbunddeckenprofilen mit äußeren Aussteifungen

Das Bemessungsmoment eines Querschnitts für Biegung um eine Hauptachse $M_{c,Rd}$ wird nach EN 1993-1-3 Kapitel 6.1.4 „Biegung“ wie folgt ermittelt (siehe Bild 6.3.2.1):

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} sollte auf einem wirksamen Querschnitt beruhen, der nur dem Biegemoment um die jeweilige Hauptachse unterliegt, wobei die maximale Spannung $\sigma_{\text{max,Ed}} = f_{yb} / \gamma_{M0}$ ist und die Auswirkungen von lokalem Beulen und Forminstabilität gemäß Abschnitt 5.5. und 7.1. berücksichtigt werden.

7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN

Sachverhalte, die in diesen Bemessungsregeln nicht behandelt werden:

- Feuer
- Erdbeben - Seismische Berechnung
- Umweltaspekt
- Thermische Berechnung
- Akustik
- Andere.

8. BERECHNUNGSBEISPIEL

8.1. Erläuterung der Software zur Berechnung der "Äußeren Steifen"

Diese Software ermöglicht die Berechnung der Momententragfähigkeit in Feldmitte für ein Profil mit einer äußeren Steife im oberen Gurt und zwei Aussteifungen im unteren Gurt.

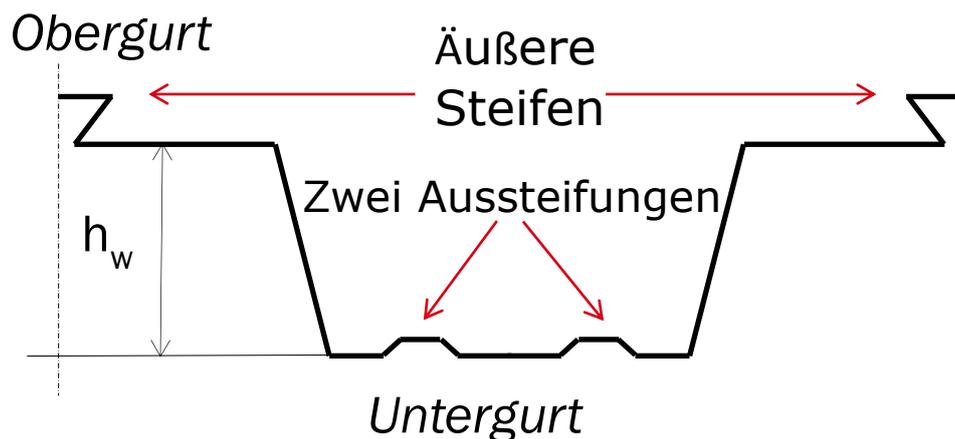


Abbildung 8.1.1 – Trapezprofil mit äußerer Steife im Obergurt und zwei Aussteifungen im Untergurt

1) Parameter

Alle roten Zellen müssen mit den Profilabmessungen (Abbildung 8.1.2) gefüllt werden: Innerer Biegeradius R_1 , $R_{2\text{sup}}$, $R_{2\text{inf}}$, Winkel θ_1 und θ_2 , Konstruktionsdicke t , Nenndicke t_{nom} , Profilwellenlänge, Steghöhe h_w , Tiefe der oberen Versteifung d_s , Tiefe der unteren Versteifung d_i , Streckgrenze f_{yb} , E-Modul und γ_{M0} .

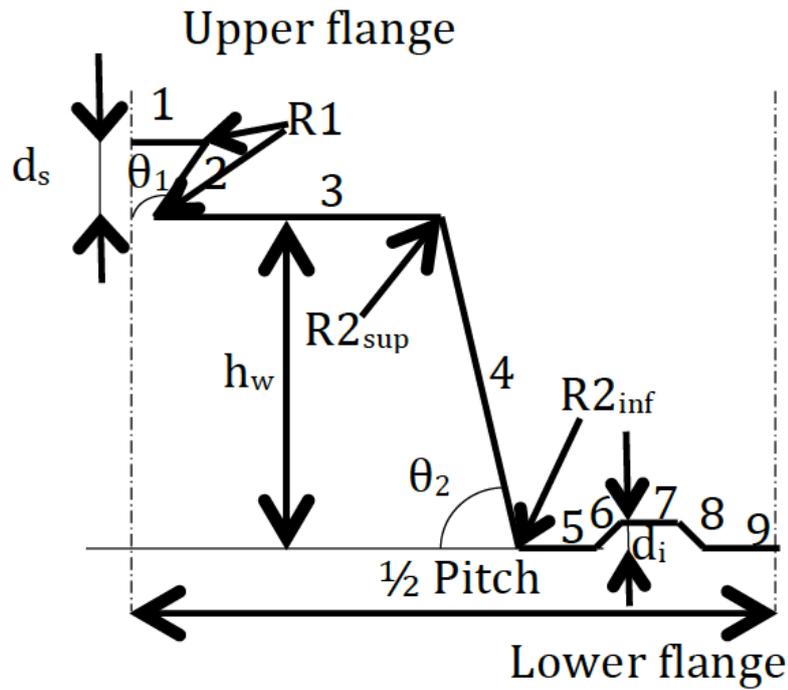


Abbildung 8.1.2 - Elementnummern und Parameter

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	t _{nom} (mm)	t (mm)
Pitch (mm)	h _w (mm)	d _s (mm)	d _i (mm)	f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}

Tabelle 8.1.1 - Excel-Zellen, die mit den Profilabmessungen gefüllt werden sollen

Füllen Sie die roten Felder der folgenden Tabelle mit den Abmessungen (b_{pi}) aller Elemente von einer halben Profilwelle. Die Elementnummern sind in der Abbildung 8.1.2 angegeben. Die Länge der Elemente wird aus den Mittelpunkten "P" der benachbarten Eckelemente gemessen, wie in Abbildung 8.1.3 dargestellt.

Element	b_{pi} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

Tabelle 8.1.2 - Excel-Zellen, die mit den Dimensionen der Elemente gefüllt werden sollen

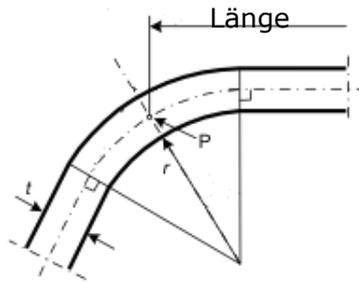


Abbildung 8.1.3 - Länge der Elemente, gemessen von den Mittelpunkten "P"

2) Überprüfen der geometrischen Abmessungen

Füllen Sie die rote Zelle mit dem Wert b und die Software zeigt automatisch die Kontrolle der geometrischen Abmessungen an.

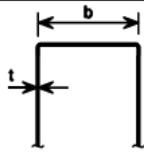
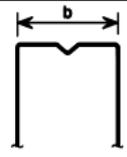
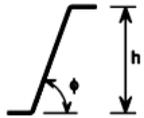
	$b =$	75.00			$b/t \leq 500$
	$b/t =$	87.21			
	$\theta_2 =$	79.38			
	$h/t =$	93.02			$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
	$500 \sin(\theta_2) =$	491.44			$h/t \leq 500 \sin \phi$
	$r < 0,04 t E / f_y$	15.37			

Tabelle 8.13 - Automatische Kontrolle der geometrischen Abmessungen

3) Ergebnisse

Die Software zeigt die Ergebnisse automatisch an:

⇒ Momententragfähigkeit in Feldmitte $M_{span} = 13.3 \text{ kNm/m}$

8.2 Automatische Kontrolle der Software – Details der Rechenschritte

Die automatische Steuerung basiert auf der Berechnung des Werts für die Momententragfähigkeit in Feldmitte eines Profils mit einer Nennblechdicke von 0,90 mm.

1) Parameter

Software und **Berechnung**:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	t _{nom} (mm)	t (mm)
0.00	1.89	15.00	5.00	1.39	0.90	0.86

Pitch (mm)	h _w (mm)	d _s (mm)	d _i (mm)	f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}
300.00	80.00	15.00	6.00	450.00	210000.00	1.00

Tabelle 8.2.1 - Excel-Zellen gefüllt mit den Profilabmessungen

Element	b_{pi} (mm)
1	12.00
2	15.81
3	68.00
4	77.57
5	15.00
6	8.49
7	8.00
8	8.49
9	25.00

Tabelle 8.2.2 – Excel-Zellen gefüllt mit den Profilabmessungen

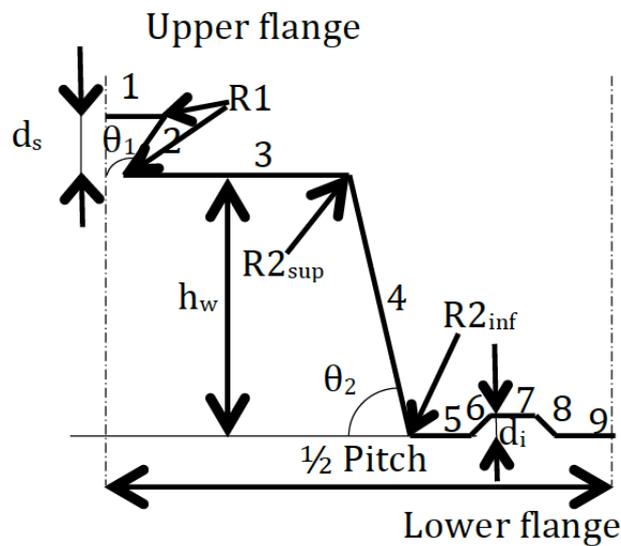


Abbildung 8.2.1 - Elementnummerierung

2) Überprüfen der geometrischen Abmessungen

Die Software zeigt automatisch die Kontrolle der geometrischen Verhältnisse an.

$b =$	75.00		$b/t \leq 500$
$b/t =$	87.21		
$\theta_2 =$	79.38		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$
$h/t =$	93.02		
$500 \sin(\theta_2) =$	491.44		
$r < 0,04 t E / f_y$	16.05		

Tabelle 8.2.3 – Automatische Überprüfung der geometrischen Verhältnisse

3) Ergebnisse

Software:

Momenten Tragfähigkeit in Feldmitte

$M_{span} = 13.3 \text{ kNm/m}$

Berechnung:

Berechnung von A_g die Fläche des Bruttoquerschnitts

A_g ist die Summe der Flächen der einzelnen Elemente (Länge x t)

$A_g = 206,8 \text{ mm}^2$

Position der neutralen Achse: $z_G = 46,6 \text{ mm}$

Berechnung von A_{eff} der Nutzfläche:

1. Schritt

A_{eff} ist die Summe der wirksamen Flächen der einzelnen Elemente.

Wirksame Fläche des oberen Gurts

Der obere Gurt hat eine Aussteifung, daher wird der wirksame Querschnitt des Gurtes nach EN 1993-1-3 Kapitel 5.5.3.4.2 „Gurte mit Zwischenaussteifungen“ berechnet.

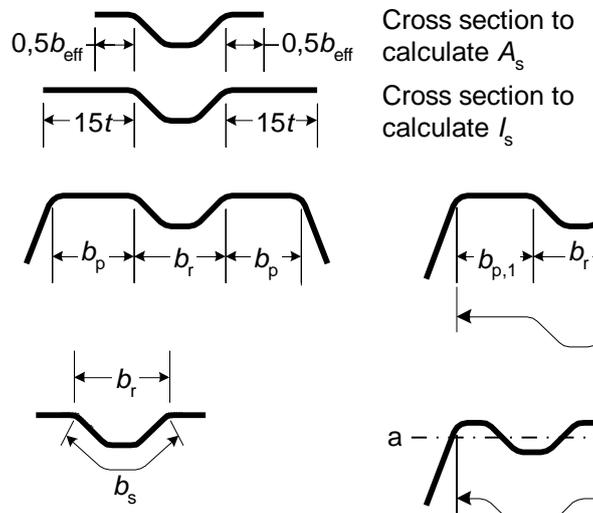


Abbildung 8.2.2 – Gurt mit einer Aussteifung

Die Spannung im Obergurt beträgt: $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 323 \text{ N/mm}^2$

$b_p = 68 \text{ mm}, \rho=0.57 \rightarrow 0,5 b_{eff} = 19.39 \text{ mm}$

Aussteifungen:

Der Querschnitt der Aussteifung wird nach EN 1993-1-3 Kapitel 5.5.3.3 "Ebene Teilflächen mit Zwischensteifen" berechnet.

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,s} = 325 \text{ N/mm}^2$

Reduktionsfaktor für die Forminstabilität $\chi_d = 0,619$

Wirksame Stegfläche

Die wirksamen Flächen des Steges werden nach EN 1993-1-3 Kapitel 5.5.3.4.3 "Stege mit bis zu zwei Aussteifungen" berechnet.

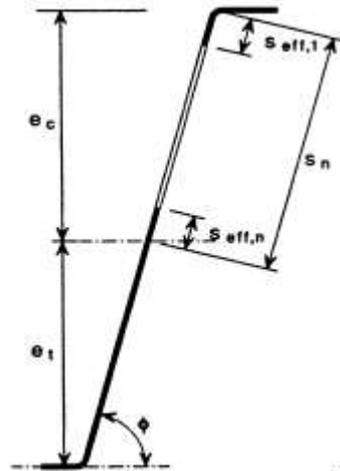


Abbildung 8.2.3 – Wirksame Stegfläche

$$e_c = h_w - z_G = 33.4 \text{ mm} \rightarrow s_n = 31.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 323 \text{ N / mm}^2 \rightarrow s_{eff,0} = 20,84 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} = 20,84 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,n} = 31,26 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n \text{ Der gesamte Steg ist wirksam.}$$

$$s_{eff,1} = 0,4s_n$$

$$s_{eff,n} = 0,6s_n$$

Wirksame Fläche des unteren Gurts

Der Untergurt ist unter Zugbelastung \rightarrow alle Breiten sind voll wirksam

Gesamte Nutzfläche

$$A_{eff} = 176,2 \text{ mm}^2.$$

Position der neutralen Achse des wirksamen Abschnitts: $z_G = 40,57 \text{ mm}$

Iteration: Nächste Schritte

In den nächsten Schritten wird die neue Position der neutralen Achse des wirksamen Schnittes zur Berechnung des neuen σ_{com} .

Die wirksame Fläche des oberen Gurts wird wie in Schritt 1 berechnet, jedoch unter Berücksichtigung des neuen σ_{com} mit neuer Position der neutralen Achse z_c .

Die wirksame Fläche des Stegs wird wie in Schritt 1 berechnet, jedoch unter Berücksichtigung der neuen σ_{com} berechnet mit neuer Position der neutralen Achse z_c

Alle Werte von Schritt 2, Schritt 3 und Schritt 4 sind in der folgenden Tabelle angegeben. Die Konvergenz wird in Schritt 4 als zufriedenstellend angesehen, die Iteration endet in Schritt 4.

		2nd step	3rd step	4th step
Upper flange	σ_{com}	437	450	450
	ρ	0.469	0.460	0.460
	$0,5 b_{1,eff}$	15.96	15.63	15.63
Upper flange	$\sigma_{cr,s}$	350.22	352.81	352.81
	χ_d	0.65	0.65	0.65
	t_{red}	0.58	0.56	0.56
Web	e_c	39.4	39.4	39.4
	s_n	37.2	37.2	37.2
	$s_{eff,0}$	17.9	17.9	17.9
	$s_{eff,1}$	17.9	17.9	17.9
	$s_{eff,n}$	26.9	26.9	26.9
	$s_{eff,1} + s_{eff,n}$	44.8	44.8	44.8
		entire web is effective	entire web is effective	entire web is effective
	$s_{eff,1}$	0,4sn	0,4sn	0,4sn
	$s_{eff,n}$	0,6sn	0,6sn	0,6sn
Total effective	A_{eff}	163.4	162.3	162.3
Position of ne	z_c	37.2	36.9	36.9

Tabelle 8.2.4 – Schritt 2,3,4 – Werte

Berechnung der Momententragfähigkeit in Feldmitte

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Für die 1/2 Profilwelle $I_{eff} = 191665 \text{ mm}^4$

Für das Profil $I_{eff} = 1278 \text{ mm}^3$

$v = \max(36.9; 43.1) = 43.1 \text{ mm}$

$W_{eff} = I_{eff} / v = 29.6 \text{ mm}^3$

Das berechnete Feldmoment beträgt: **$M_{span} = 13.3 \text{ kNm/m}$**

Das Ergebnis der Software ist: **$M_{span} = 13.3 \text{ kNm/m}$**

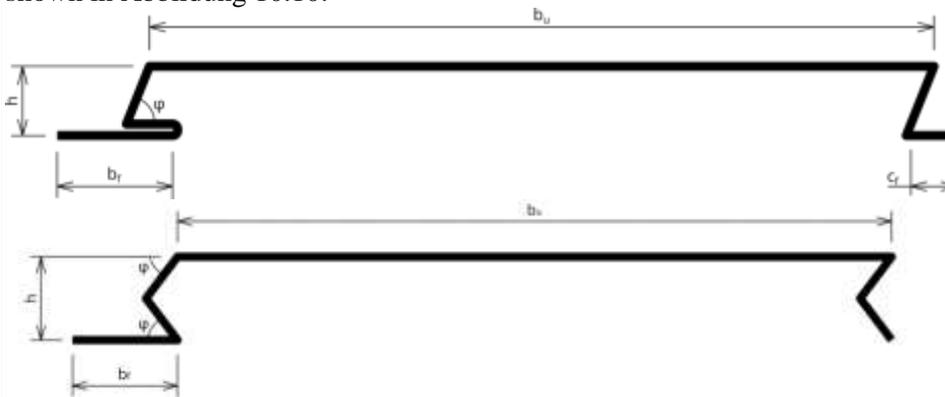
Die Ergebnisse sind identisch.

LITERATUR

- [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

ÄNDERUNGSPROJEKT 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 **Tabelle 10.7**

Tabelle 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.

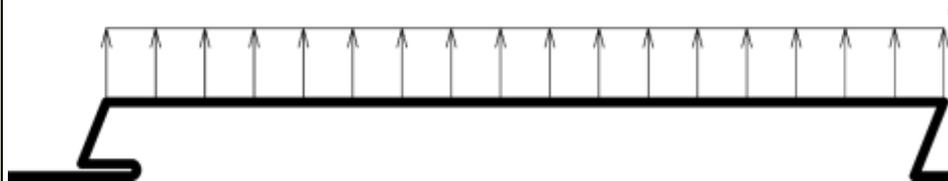
Change the clause 10.2.1 (4) with:

(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

TEIL 2: BEMESSUNGSBEISPIEL FÜR VERBUNDDECKENPROFILE MIT ÄUßEREN STEIFEN

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Bemessungsregel ist es, ein neues Bemessungsverfahren für Verbunddeckenprofile mit äußeren Steifen vorzugeben, welche in dem europäischen Projekt GRISPE PLUS entwickelt wurde.

Die Regeln basieren auf den Grundsätzen des Eurocodes im Allgemeinen und den Eurocodes EN 1993-1-3 und EN 1993-1-5 im Besonderen.

Dieses neue Bemessungsverfahren basiert auf Versuchen, die im Rahmen des europäischen GRISPE-Projekts (2013-2016) durchgeführt wurden.

Der Hintergrund dieses Verfahrens ist in Anhang 1 beschrieben.

Kapitel 1 beschreibt die Parameter und den Profilquerschnitt

Kapitel 2 erläutert die Berechnung des Bruttoquerschnitts

Kapitel 3 enthält die Berechnung des wirksamen Querschnitts

Kapitel 4 führt in die Berechnung der Momententragfähigkeit ein

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 wurde von Anna PALISSON 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

Korrespondierende Mitglieder:

Léopold SOKOL	Frankreich
---------------	------------

ABBILDUNGEN

Die Abbildungen wurden von folgenden Firmen hergestellt:

Abbildung 1.1 - Sokol Palisson Consultants

Abbildung 1.1.1 - Sokol Palisson Consultants

Abbildung 2.1 - Kopie aus EN 1993-1-3

Abbildung 3.1.1 - Kopie aus EN 1993-1-3

Abbildung 3.1.2 - Kopie aus EN 1993-1-3

Abbildung 3.1.3 - Sokol Palisson Consultants

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, das neue Bemessungsverfahren für Verbunddeckenprofile mit äußerer Steife, das zur Aufnahme in den Eurocode EN 1993-1-3 vorgeschlagen wurde.

Diese Bemessungsregeln befassen sich mit aktuellen Situationen.

Für spezielle Sachverhalte (z.B. Öffnung) oder für Ausnahmesituationen (Erdbeben, Feuer, etc.) sind die entsprechenden Bestimmungen der Eurocodes bzw. der EN 1090-4 zu beachten.

BEZEICHNUNGEN

Folgende Symbole werden verwendet:

t : Bemessungsdicke

t_{nom} : Nennblechdicke

t_{eff} : Wirksame Dicke

h_w : Profilhöhe

f_{yb} : Streckgrenze

E : E-Modul

t_{red} : Reduzierte Dicke

b_{pi} : Nennwert der geraden Breite

$b_{i,eff}$: Wirksame Breite

A_g : Bruttoquerschnittsfläche

A_{eff} : Wirksame Fläche

z_G : Lage der neutralen Achse

σ_{xx} : Spannung

χ_d : Abminderungsfaktor für Forminstabilität

$M_{c,Rd}$: Momententragfähigkeit

M_{span} : Momententragfähigkeit im Feld

e_c : Höhe der Druckzone bis zur neutralen Achse

s_n : Breite des Steges in der Druckzone bis zur neutralen Achse

s_{eff} : Wirksame Breite des Steges

W_{eff} : Wirksames Widerstandsmoment

1. EINLEITUNG

Dieses Beispiel zeigt den Umgang mit Stahltrapezprofilen mit Aussteifungen. Es dient der Bestimmung der Biegefähigkeit eines Trapezprofils mit einer äußeren Steife im Obergurt und zwei Aussteifungen im unteren Gurt.

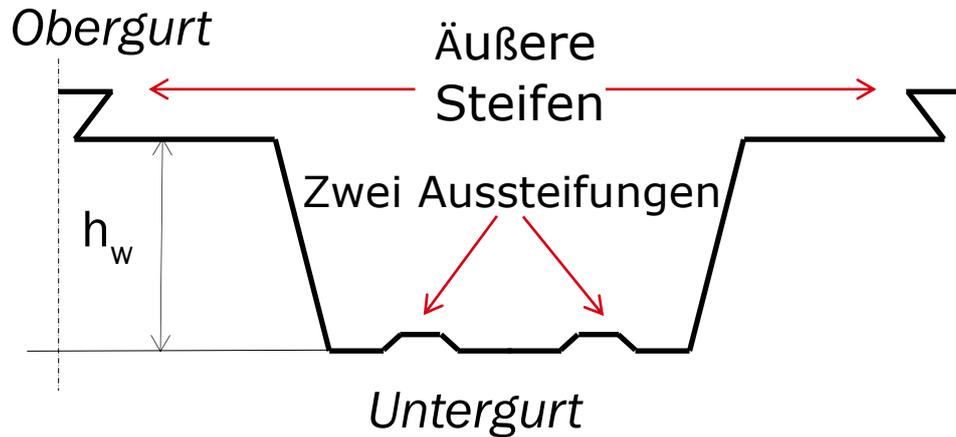


Abbildung 1.1 – Trapezprofil mit äußerer Steife im Obergurt und zwei Aussteifungen im Untergurt

1.1. Profilquerschnitt

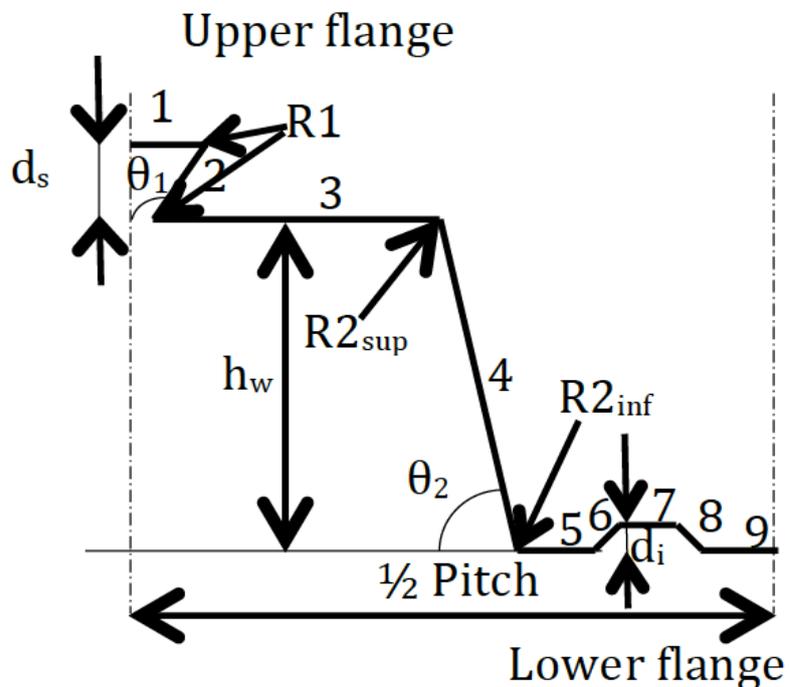


Abbildung 1.1.1 - Elementnummern

1.2. Angaben zum Profil

Das Beispiel basiert auf der Berechnung der Momententragfähigkeit im Feld eines Profils mit den folgenden Daten:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	t _{nom} (mm)	t (mm)
0.00	1.89	15.00	5.00	1.39	0.90	0.86

Pitch (mm)	h _w (mm)	d _s (mm)	d _i (mm)	f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}
300.00	80.00	15.00	6.00	450.00	210000.00	1.00

Tabelle 1.2.1 - Angaben zum Profil

Element	b _{pi} (mm)
1	12.00
2	15.81
3	68.00
4	77.57
5	15.00
6	8.49
7	8.00
8	8.49
9	25.00

Tabelle 1.2.2 - Abmessungen der einzelnen Elemente

Überprüfung der geometrischen Verhältnisse

b = 75; t = 0.86; h = 60; f_y = 450

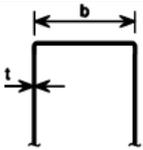
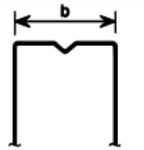
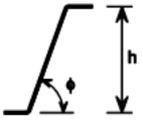
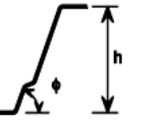
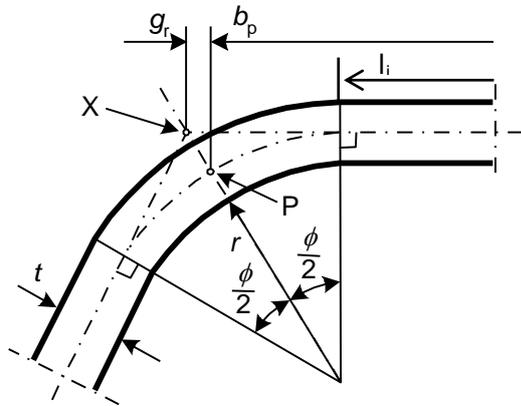
				b/t ≤ 500
				45° ≤ φ ≤ 90°
				h/t ≤ 500 sinφ
	b=	75.00		
	b/t=	87.21		
	θ_2 =	79.38		
	h/t=	93.02		
	500sin(θ2)=	491.44		
	r < 1,04 t E / f _y	16.05		

Tabelle 1.2.3 - Überprüfung der geometrischen Verhältnisse

2. BERECHNUNG DER BRUTTOGESAMTLÄCHE A_g

A_g ist die Summe der Flächen der einzelnen Elemente (Länge x t)

$$\text{Länge} = l_i = b_p - r_m \times \sin\pi/4$$



(a) Mittelpunkt der Eckenrundung

X ist der Schnittpunkt der Mittellinien

P ist der Mittelpunkt der Ecke

$$r_m = r + t/2$$

Abbildung 2.1 - Nennbreiten der ebenen Querschnittsteile b_p unter Berücksichtigung von Eckenradien

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
1	12.0	10.3	95.0	980.40	-48.41
Corner 1 _{sup}	0.0	0.0	95.0	0.00	-48.41
2	15.8	13.6	87.5	1189.81	-40.91
Corner 1 _{inf}	0.0	0.0	80.0	0.00	-33.41
3	58.4	50.2	80.0	4019.33	-33.41
Corner 2 _{sup}	20.8	17.9	75.6	1351.88	-29.05
4	64.8	55.7	35.9	2001.69	10.67
Corner 2 _{inf}	6.9	6.0	1.5	8.66	45.14
5	11.8	10.2	0.0	0.00	46.59
6	8.5	7.3	3.0	21.89	43.59
7	8.0	6.9	6.0	41.28	40.59
8	8.5	7.3	3.0	21.89	43.59
9	25.0	21.5	0.0	0.00	46.59
TOTAL		206.8		9636.8	46.6

Tabelle 2.1 - Abmessungen der einzelnen Elemente

$$A_g = 206.8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lage der neutralen Achse: } z_G = S / A_g = 46,6 \text{ mm}$$

3. BERECHNUNG DER WIRKSAMEN QUERSCHNITTSFLÄCHE A_{EFF}

A_{eff} ist die Summe der wirksamen Flächen der einzelnen Elemente.

3.1. Schritt 1

Wirksame Querschnittsfläche des Obergurtes

Der Obergurt hat eine äußere Steife. Der wirksame Querschnitt des Gurtes wird nach EN 1993-1-3 Kapitel 5.5.3.4.2 "Gurte mit Zwischenaussteifungen" berechnet. **Mit Spannung in der äußeren Steife gleich der Spannung im oberen Flansch.**

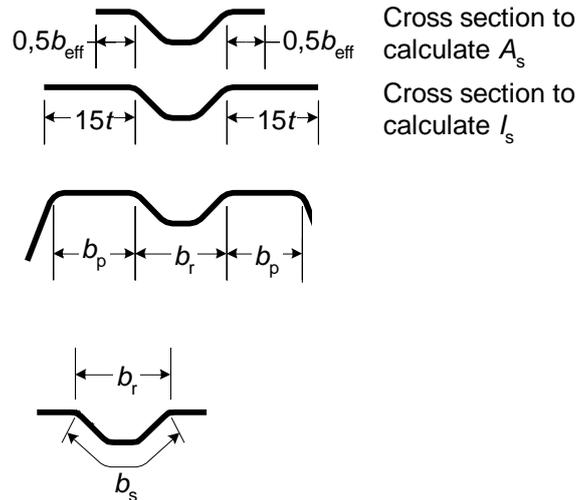


Abbildung 3.1.1 - Gurt mit einfacher oder mehrfacher Aussteifung

Die Spannung im Obergurt beträgt: $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 323 \text{ N} / \text{mm}^2$

$b_p = 68 \text{ mm}$

$$\lambda_p = b_p / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ with } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1 \rightarrow \text{Koeffizient } k_\sigma = 4$$

$$\lambda_p = 1.926$$

$$\lambda_{pred} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 1.631$$

$$\lambda_{pred} > 0.673 \rightarrow \rho = \frac{1 - 0.055(3 + \psi) / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0.18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0.6)} \rightarrow \rho = 0.57$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 38.8 \rightarrow \boxed{0,5 b_{eff} = 19.4 \text{ m}}$$

Aussteifung des Obergurtes:

Der Querschnitt der Aussteifung wird nach EN 1993-1-3 Kapitel 5.5.3.3 "Ebene Teilflächen mit Zwischensteifen" berechnet.

Die elastische kritische Spannung $\sigma_{cr,s}$ wird berechnet mit:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2 k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4 b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}}$$

$b_s = 55.6 \text{ mm}, b_p = 68 \text{ mm}$

Berechnung von A_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)
plane part	19.39	16.68
Corner l_{inf}	0.00	0.00
2	15.81	13.60
Corner l_{sup}	0.00	0.00
1	24.00	20.64
Corner l_{sup}	0.00	0.00
2	15.81	13.60
Corner l_{inf}	0.00	0.00
plane part	19.39	16.68
TOTAL		81.2

Tabelle 3.1.1 - Längen und Flächen der einzelnen Elemente

$A_s = 81.2 \text{ mm}^2$

Berechnung von I_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
plane part	12.90	11.09	0.00	0.00	7.33	0.86	597.44
Corner l_{inf}	0.00	0.00	0.00	0.00	7.33	0.00	0.00
2	15.81	13.60	7.50	101.98	-0.17	15.00	255.33
Corner l_{sup}	0.00	0.00	15.00	0.00	-7.67	0.00	0.00
1	24.00	20.64	15.00	309.60	-15.33	1.72	1214.17
Corner l_{sup}	0.00	0.00	15.00	0.00	-7.67	0.00	0.00
2	15.81	13.60	7.50	101.98	-0.17	15.00	255.33
Corner l_{inf}	0.00	0.00	0.00	0.00	7.33	0.00	0.00
plane part	12.90	11.09	0.00	0.00	7.33	0.86	597.44
TOTAL		70.0		513.6	7.33		2919.7

Tabelle 3.1.2 - Flächenträgheitsmomente der einzelnen Elemente

$I_s = 2919.7 \text{ mm}^4$

$$l_b = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}{t^3}}$$

$l_b = 869.3$

$s_w = 73.7$

Bemessungsregeln für Verbunddeckenprofile mit äußeren Steifen

$$l_b / s_w = 11.8 \geq 2 \rightarrow k_w = k_{w0}$$

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2 b_d}{s_w + 0,5 b_d}}$$

$$b_d = 2b_p + b_s = 191.6 \text{ mm}$$

$$k_{w0} = 1.64$$

$$\boxed{\text{Elastische kritische Spannung } \sigma_{cr,s} = 324.7 \text{ N/mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}}$$

$$\lambda_d = 1.177$$

$$0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38 \rightarrow \chi_d = 1,47 - 0,723 \bar{\lambda}_d$$

$$\boxed{\text{Abminderungsfaktor für die Forminstabilität } \chi_d = 0,619}$$

$$\text{Reduzierte Dicke } t_{red} = C_d t \frac{f_{yb} / g_{M0}}{S_{com,Ed}}$$

$$\boxed{\text{Reduzierte Dicke } t_{red} = 0.74 \text{ mm}}$$

Wirksame Fläche des Steges

Die wirksamen Flächen des Steges werden nach EN 1993-1-3 Kapitel 5.5.3.4.3 "Stege mit bis zu zwei Aussteifungen" berechnet.

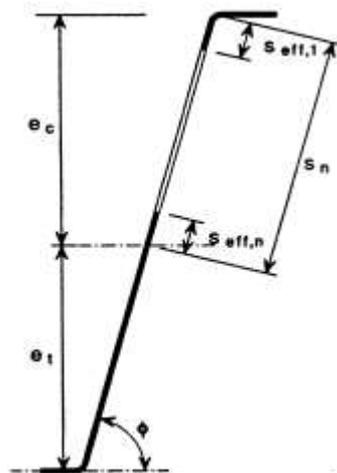


Abbildung 3.1.2 - Wirksame Querschnittsfläche von trapezförmig profilierten Stegen

$$e_c = h_w - z_G = 33.4 \text{ mm} \rightarrow s_n = 31.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 323 \text{ N / mm}^2$$

Die wirksamen Querschnittswerte dürfen wahlweise durch Iteration weiter verbessert werden. Bei dieser Iteration sollte ein erhöhter Eingangswert für die wirksame Breite $s_{eff,0}$ berechnet werden:

$$s_{\text{eff},0} = 0,95t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \sigma_{\text{com,Ed}}}}$$

→ $s_{\text{eff},0} = 20,84 \text{ mm}$

$s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},1} = 20,84 \text{ mm}$

$s_{\text{eff},n} = 1.5 s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},n} = 31.26 \text{ mm} \rightarrow s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n} \geq s_n$ Der Steg ist voll wirksam

$s_{\text{eff},1} = 0,4s_n$

$s_{\text{eff},n} = 0,6s_n$

Wirksame Fläche des Untergurtes

Der Untergurt ist unter Zugbelastung → alle Breiten sind voll wirksam

Wirksame Gesamtfläche

Berechnung von A_{eff}

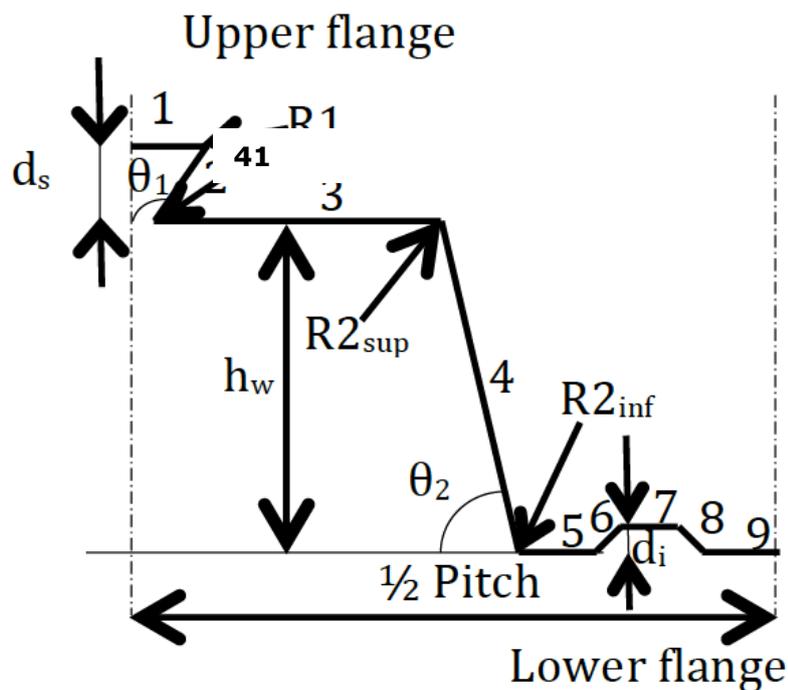


Abbildung 3.1.3 - einzelne Elementnummern

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
1	12.0	0.7	8.9	95.0	846.1	-54.4
Corner 1 _{sup}	0.0	0.7	0.0	95.0	0.0	-54.4
2	15.8	0.7	11.7	87.5	1026.8	-46.9
Corner 1 _{inf}	0.0	0.7	0.0	80.0	0.0	-39.4
31	19.4	0.7	14.4	80.0	1151.5	-39.4
32	9.8	0.9	8.4	80.0	675.2	-39.4
Corner 2 _{sup}	20.8	0.9	17.9	75.6	1351.9	-35.1
4	64.8	0.9	55.7	35.9	2001.7	4.6
Corner 2 _{inf}	6.9	0.9	6.0	1.5	8.7	39.1
5	11.8	0.9	10.2	0.0	0.0	40.6
6	8.5	0.9	7.3	3.0	21.9	37.6
7	8.0	0.9	6.9	6.0	41.3	34.6
8	8.5	0.9	7.3	3.0	21.9	37.6
9	25.0	0.9	21.5	0.0	0.0	40.6
TOTAL			176.2		7147.0	40.6

Tabelle 3.1.3 - Länge und Fläche der einzelnen Elemente

$$A_{\text{eff}} = 176.2 \text{ mm}^2$$

Die Lage der neutralen Achse vom wirksamen Querschnitt beträgt: $z_G = 40,6 \text{ mm}$

3.2. Iteration: Nächster Schritt

In den nächsten Schritten wird die neue Position der neutralen Achse des wirksamen Querschnitts mit dem neuen σ_{com} bestimmt.

Die wirksame Querschnittsfläche des Obergurtes wird wie in Schritt 1 berechnet, jedoch unter Berücksichtigung des neuen σ_{com} , welches mit der aktuell iterierten Position der neutralen Achse z_c berechnet wird.

Die wirksame Querschnittsfläche vom Steg wird ebenfalls wie in Schritt 1 berechnet, wobei die neue Spannung σ_{com} mit der neuen Position der neutralen Achse berechnet wird.

Der Untergurt ist weiterhin vollständig unter Zugbelastung und alle Breiten sind voll wirksam.

Alle Werte der Schritte 2, 3 und 4 sind in der folgenden Tabelle angegeben. Die Konvergenz wird in Schritt 4 als zufriedenstellend angesehen und die Iteration endet in Schritt 4.

		2nd step	3rd step	4th step
Upper flange	σ_{com}	437	450	450
	ρ	0.469	0.460	0.460
	$0,5 b_{1,eff}$	15.96	15.63	15.63
Upper flange	$\sigma_{cr,s}$	350.22	352.81	352.81
	χ_d	0.65	0.65	0.65
	t_{red}	0.58	0.56	0.56
Web	e_c	39.4	39.4	39.4
	s_n	37.2	37.2	37.2
	$s_{eff,0}$	17.9	17.9	17.9
	$s_{eff,1}$	17.9	17.9	17.9
	$s_{eff,n}$	26.9	26.9	26.9
	$s_{eff,1} + s_{eff,n}$	44.8	44.8	44.8
		entire web is effective	entire web is effective	entire web is effective
	$s_{eff,1}$	0,4sn	0,4sn	0,4sn
	$s_{eff,n}$	0,6sn	0,6sn	0,6sn
Total effective	A_{eff}	163.4	162.3	162.3
Position of ne	z_c	37.2	36.9	36.9

Tabelle 3.2.1 – Ergebnisse der Schritte 2,3 und 4

4. BERECHNUNG DER MOMENTENTRAGFÄHIGKEIT

Die Momententragfähigkeit wird mit den Daten aus Schritt 4 berechnet:

Element	I_i (mm ⁴)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)	h	I_i (mm ⁴)
1	12.0	0.6	6.7	95.0	640.7	-58.1	0.9	22784.9
Corner 1 _{sup}	0.0	0.6	0.0	95.0	0.0	-58.1	0.0	0.0
2	15.8	0.6	8.9	87.5	777.5	-50.6	15.0	22940.3
Corner 1 _{inf}	0.0	0.6	0.0	80.0	0.0	-43.1	0.0	0.0
31	15.6	0.6	8.8	80.0	702.9	-43.1	0.9	16341.2
32	6.1	0.9	5.2	80.0	416.6	-43.1	0.9	9684.5
Corner 2 _{sup}	20.8	0.9	17.9	75.6	1351.9	-38.8	0.0	27109.4
4	64.8	0.9	55.7	35.9	2001.7	1.0	63.7	18884.8
Corner 2 _{inf}	6.9	0.9	6.0	1.5	8.7	35.4	0.0	7484.0
5	11.8	0.9	10.2	0.0	0.0	36.9	0.9	13807.1
6	8.5	0.9	7.3	3.0	21.9	33.9	8.5	8417.3
7	8.0	0.9	6.9	6.0	41.3	30.9	0.9	6558.7
8	8.5	0.9	7.3	3.0	21.9	33.9	8.5	8417.3
9	25.0	0.9	21.5	0.0	0.0	36.9	0.9	29235.5
TOTAL			162.3		5984.9	36.9		191664.9

Tabelle 4.1 – Daten aus Schritt 4

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Für eine halbe Profilhöhe $I_{eff} = 191665 \text{ mm}^4$

Für ein Profil $I_{eff} = 1278 \text{ mm}^3$

$$v = \max(36.9; 43.1) = 43.1 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 29.6 \text{ mm}^3$$

$$M_{span} = 13.3 \text{ kNm/m}$$

ANHANG 1

Hintergrund des neuen Bemessungsverfahrens für Profilbleche mit Perforierungen:

D1.1	GRISPE WP3 Hintergrunddokument	Anna PALISSON (Sokol Palisson Berater)
D1.2	GRISPE WP3 Versuchsaufbau	Anna PALISSON (Sokol Palisson Berater)
D1.3	GRISPE Versuchsprotokoll für Trapezprofile mit und ohne Prägung und äußere Steifen	Christian FAUTH (KIT)
D1.4	GRISPE WP3 Analyse und Interpretation der Versuche	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.6	GRISPE Background guidance for EN 1993-1-3 to design of special shape sheeting (with outwards stiffeners in the flange) GRISPE Hintergrundinformation für EN 1993-1-3 zur Bemessung der speziellen Profile (mit und ohne äußere Steife im Gurt)	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)