

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP Nr.: 3

WP Titel: E-Lectures

Deliverable Nr.: D3.1

Titel: Trapezprofile mit Öffnungen

Datum: 31. März 2018

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

Autor(en)

Sokol Palisson Consultants, Anna Palisson

Zeichnungshistorie

ENDFASSUNG – Datum: 31. März 2018

Verbreitungsgrad

PU	öffentlich	
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)	

D3.1 HOLED PROFILES

RFCS funded – agreement N° 754092

DISCLAIMER NOTICE AND EU ACKNOWLEDGEMENT OF SUPPORT

DISCLAIMER NOTICE

By making use of any information or content in this manual (Part 1 and Part 2) 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 manual (Part 1 and Part 2) 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 No75 4092

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Bemessungsregel ist es, ein neues Bemessungsverfahren für Profilbleche mit Öffnungen im Obergurt vorzustellen, 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 für Profile mit Öffnungen 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 Art der Profile, den Stand der Technik, die wichtigsten Forschungsergebnisse von GRISPE und die allgemeinen Bemessungsanforderungen und -regeln;

Kapitel 2 beschreibt die Vorbemessungen, die während der Entwurfsphase zu berücksichtigen sind, insbesondere die Überprüfung des Anwendungsbereichs des neuen Bemessungsverfahrens;

Kapitel 3 gibt die technischen Anforderungen an, die eingehalten werden müssen, einschließlich Unterkonstruktion, Profileigenschaften und Montage;

Kapitel 4 gibt die Materialeigenschaften der Profile an;

Kapitel 5 berücksichtigt die Einwirkungen und Lastfallkombinationen;

Kapitel 6 gibt die Bemessungsgrundlagen an;

Kapitel 7 berücksichtigt besondere Bemessungsbetrachtungen;

Kapitel 8 erläutert die Softwareberechnung für perforierte Profilbleche;

Kapitel 9 enthält ein Bemessungsbeispiel des neuen Bemessungsverfahrens;

Kapitel 10 zeigt die automatische Überprüfung der Software.

Ein Literaturverzeichnis und ein Anhang sind enthalten.

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

Zu den korrespondierenden Mitgliedern zählt:

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

ABBILDUNGEN

Die Abbildungen stammen aus folgenden Quellen:

Abbildung 1.1.1 – JORIS IDE und Sokol Palisson Consultants

Abbildung 1.1.2 – JORIS IDE und Sokol Palisson Consultants

Abbildung 1.3.1 – KIT

Abbildung 1.3.2 – KIT

Abbildung 1.3.3 – KIT

Abbildung 2.2.1.1 – Kopie aus EN 1993-1-3

Abbildung 2.2.2.1 – Kopie aus EN 1993-1-3

Abbildung 6.2.1 - Sokol Palisson Consultants

Abbildung 8.1 – Sokol Palisson Consultants

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 9.1- Sokol Palisson Consultants

Abbildung 9.1.1- Sokol Palisson Consultants

Abbildung 9.1.2- Sokol Palisson Consultants

Abbildung 9.1.3- Sokol Palisson Consultants

Abbildung 9.2.1 – Kopie aus EN 1993-1-3

Trapezprofile mit Öffnungen

Abbildung 9.3.1.1 – Kopie aus EN 1993-1-3

Abbildung 9.3.1.2 – Kopie aus EN 1993-1-3

Abbildung 9.3.1.3 - Sokol Palisson Consultants

INHALTSVERZEICHNIS

Bezeichnungen.....	Erreur ! Signet non défini.
1. EINLEITUNG	10
1.1. Art der Profilbleche	10
1.2. Stand der Technik vor GRISPE	10
1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE.....	11
1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln	12
2. VORBEMESSUNG	12
2.1. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens.....	12
2.2. Technische Ausführung der Profilbleche	12
2.2.1. Profilformen	12
2.2.2. Querschnittsabmessungen	13
3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN	13
4. MATERIALEIGENSCHAFTEN.....	13
5. EINWIRKUNGEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN	14
6. BEMESSUNGSGRUNDLAGE	14
6.1. Grundlagen	14
6.2. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens.....	14
6.3. Bemessungsverfahren	14
6.3.1. Effektiver Querschnitt eines Profils mit einer Öffnung.....	14
6.3.2. Momententragfähigkeit von Profilen mit quadratisch angeordneten Öffnungen.....	14
7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN	15
8. ERLÄUTERUNG DER SOFTWAREBERECHNUNG	15
8.1. DATA	15
8.2. Überprüfung der geometrischen Verhältnisse.....	17
8.3. Ergebnisse	18
9. BEMESSUNGSBEISPIEL	18
9.1. Profilquerschnitt.....	18
9.1.1. Angaben zum Profil	19
9.1.2. Überprüfung der geometrischen Verhältnisse.....	20
9.2. Berechnung der Bruttogesamtfläche A_g	20
9.2.1. Berechnung der Bruttogesamtfläche A_g ohne Öffnung	21
9.2.2. Berechnung der Bruttogesamtfläche A_g mit Öffnung	21
9.3. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} – 1. Schritt der Iteration.....	21
9.3.1. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} ohne Öffnung	21
9.3.2. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} mit Öffnung	26
9.4. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} – Nächste der Iteration.....	28
9.4.1. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} ohne Öffnung	28
9.4.2. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} mit Öffnung	29
9.5. Berechnung der Momententragfähigkeit	29

Trapezprofile mit Öffnungen

9.5.1.	Berechnung der Momententragfähigkeit ohne Öffnung	29
9.5.2.	Berechnung der Momententragfähigkeit mit Öffnung	30
9.5.3.	Berechnung der Momententragfähigkeit im Feld	30
10.	AUTOMATISCHE KONTROLLE DER SOFTWARE.....	30
	Berechnung der Momententragfähigkeit:	30
11.	LITERATUR	32
ANHANG 1	32

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, das neue Bemessungsverfahren für Profile mit Öffnungen vorzustellen, 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

h_a : Steghöhe oberhalb der Aussteifung

h_{sa} : Höhe der Aussteifung im Steg

d_s : Höhe der Aussteifung im Gurt

d : Durchmesser der Öffnung

a : Abstand zwischen den Mittelpunkten der Öffnungen

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

W_{eff} : Wirksames Widerstandsmoment

1. EINLEITUNG

1.1. Art der Profilbleche

Die Bemessungsregeln behandeln Trapezprofile mit kreisförmigen (Abbildung 1.1.1) oder rechteckigen Öffnungen (Abbildung 1.1.2) im breiten Gurt.

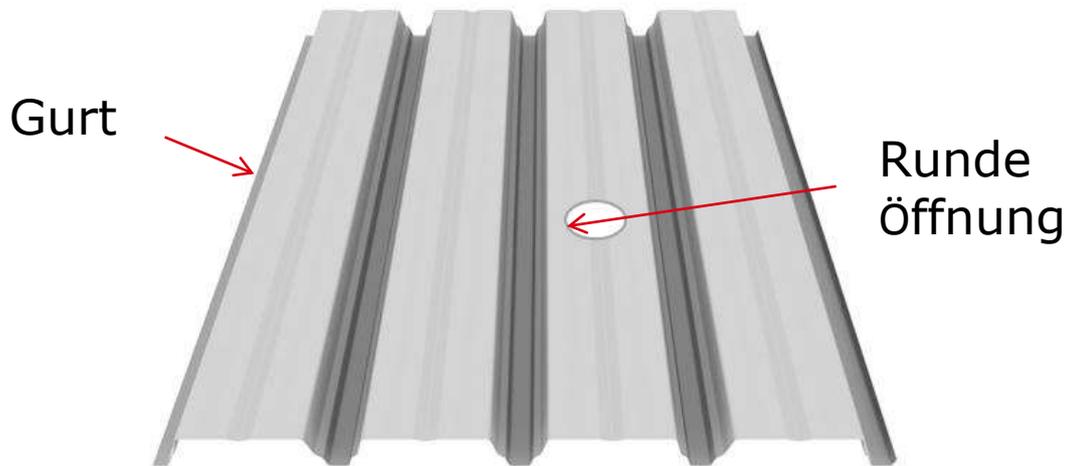


Abbildung 1.1.1 – Stahltrapezprofil mit runder Öffnung

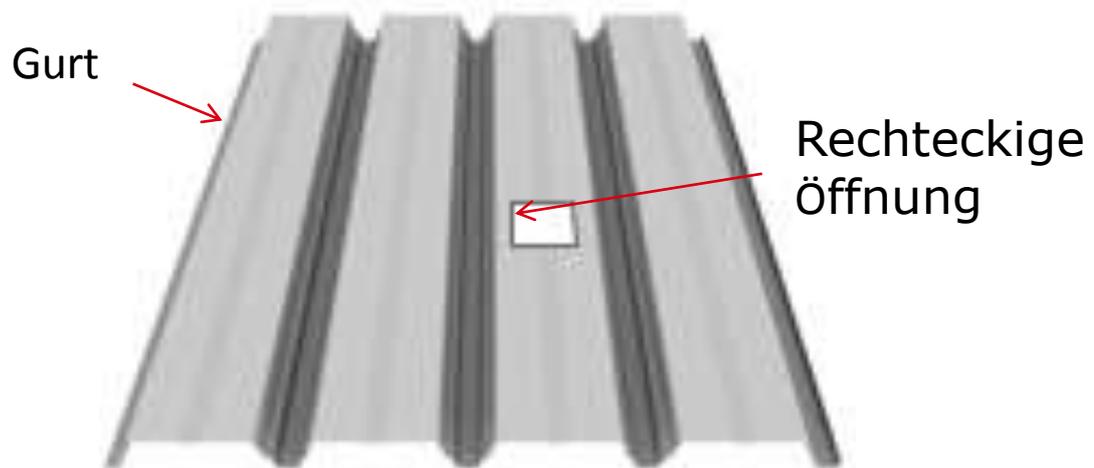


Abbildung 1.1.2 – Stahltrapezprofil mit rechteckiger Öffnung

1.2. Stand der Technik vor GRISPE

Im Zusammenhang mit den Arbeitsbedingungen auf der Baustelle ist es oft notwendig, Öffnungen in den Gurten von Profilblechen zu bohren oder zu schneiden.

Es besteht daher die Gefahr, dass improvisierte Methoden auf der Baustelle zu einer verminderten Tragsicherheit und Stabilität führen. Die Löcher reduzieren die Festigkeit der Profile global und lokal und wirken sich auf deren Biegefestigkeit und damit auf die Sicherheit aus. Eine Formel für das Beulen von Platten mit Öffnungen ist in der Literatur verfügbar [1], während die deutsche DIN 18807-3 Lösungen für eine bestimmte Verteilung und Lage der Öffnungen [2] bietet. Dafür hat der IFBS auch einige praktische Anwendungen vorgesehen [3], jedoch nur für Öffnungen mit Verstärkung.

Der US Rat für Hochbau und urbanen Lebensraum [4] überprüfte den niederländischen (SIS 1991), amerikanischen (Heagler 1987) und kanadischen Ansatz. Durchbrüche in Form von kleinen quadratischen oder runden Öffnungen für den Durchgang von Leitungen wie z.B. Regenwasserableitung werden bereits in Dächern ausgeführt[5].

Mehrere Untersuchungen an Stahlblechen mit Öffnungen [3], [4], [6], [7], [8] befassen sich nur mit der Auswirkung von Öffnungen auf das lokale Beulen und Nachbeulen von Platten, die einer Druck- oder Scherbelastung ausgesetzt sind. Es gibt bisher keine Studien, die für Profile mit Öffnungen die Momententragfähigkeit ermitteln. Auch in der europäischen Norm EN 1993-1-3 gibt es dafür bislang kein Bemessungsverfahren.

Die einzige Möglichkeit für Hersteller, ein Profil mit einer Öffnung zu konstruieren, besteht darin, teure und zeitaufwändige Versuche durchzuführen.

1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE

Um die Tragfähigkeitswerte von Stahlprofilen mit und ohne Öffnung zu ermitteln und zu vergleichen, wurde eine umfangreiche Untersuchung von 48 Versuchen nach EN 1993-1-3 Anhang A an Stahltrapezprofilen durchgeführt (Abbildung 1.3.1 bis Abbildung 1.3.4):

- Mit runder Öffnung im Druckgurt
- Mit rechteckiger Öffnung im Druckgurt
- ohne Öffnung

Es wurde ein Bemessungsverfahren entwickelt, geprüft und validiert, um die Momententragfähigkeit eines Profils mit einer runden oder quadratischen Öffnung im Obergurt zu bestimmen.



Abbildung 1.3.1 – Versuch am Einfeldträger eines Profils ohne Öffnung

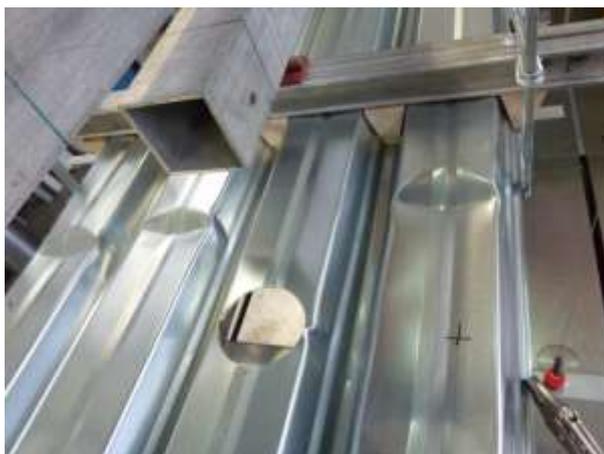


Abbildung 1.3.2 – Versuch am Einfeldträger eines Profils mit runder Öffnung

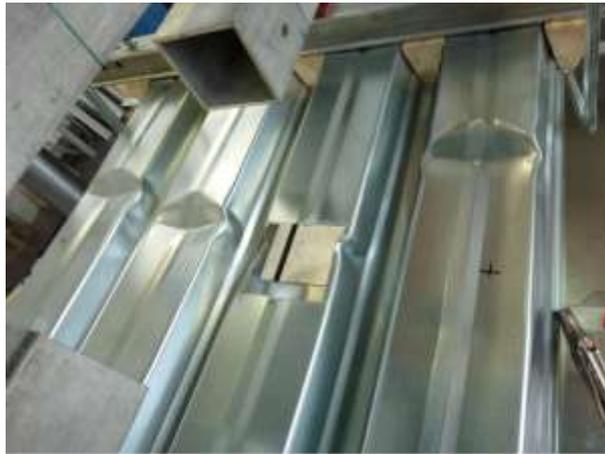


Abbildung 1.3.3 – Versuch am Einfeldträger eines Profils mit rechteckiger Öffnung

1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln

- (1) Die Gestaltung von perforierten Profilen sollte den allgemeinen Regeln der EN 1993-1-1 entsprechen.
- (2) Für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind nach EN 1993-1-3 geeignete Teilsicherheitsfaktoren festzulegen.

2. VORBEMESSUNG

2.1. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens

In diesen Bemessungsregeln werden die Anforderungen an die Konstruktion von Trapezprofilen mit runden oder rechteckigen Öffnungen 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. Technische Ausführung der Profilbleche

2.2.1. Profilformen

- (1) Die Profilbleche haben innerhalb der zulässigen Toleranzen eine konstante Nennblechdicke über ihre gesamte Länge und können entweder einen gleichmäßigen oder einen gesickten Querschnitt haben.
- (2) Die Querschnitte der Profilbleche bestehen im Wesentlichen aus einer Anzahl von ebenen Elementen, die durch gebogene Elemente verbunden sind.
- (3) Beispiele für verschiedene Querschnitte sind in Abbildung 2.2.1.1. dargestellt.

HINWEIS: Alle Bemessungsregeln beziehen sich auf die Hauptachseigenschaften, die durch die Hauptachsen $y - y$ und $z - z$ für symmetrische Schnitte und $u - u$ und $v - v$ für unsymmetrische Schnitte wie z.B. Winkel und Zed-Schnitte definiert sind. In manchen Fällen wird die Biegeachse durch verbundene Konstruktionselemente vorgegeben, unabhängig davon, ob der Querschnitt symmetrisch ist oder nicht.

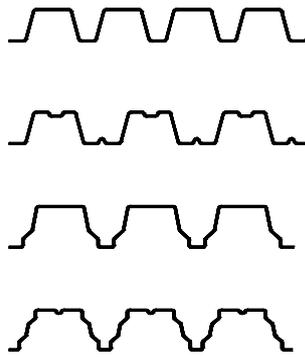


Abbildung 2.2.1.1 – Beispiele von verschiedenen Profilquerschnitten

(4) Die Querschnitte können entweder unversteift sein oder Längsversteifungen in ihren Stegen, Gurten oder beiden Teilen 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 – Geometrische Anwendungsgrenzen

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Profilblech und CE-Kennzeichnung

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

4. MATERIALEIGENSCHAFTEN

Stahlblech

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 Profildicken 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 des Biegemoments für Profilbleche mit einer runden oder quadratischen Öffnungen im Druckgurt.

6.2. Anwendungsbereich des neuen Bemessungsverfahrens

Dieses neue Bemessungsverfahren ist für Profile mit (6.2.1) oder rechteckigen (Abbildung 6.2.2) Öffnungen im Obergurt.

Anwendungsbereich:

- Trapezprofilbleche;
- nicht mehr als zwei Bohrungen pro Spannweite in einem Gurt mit Mindestabständen gemäß Bild 6.2.1;
- Es sind nur gleichmäßig verteilte Lasten zulässig.

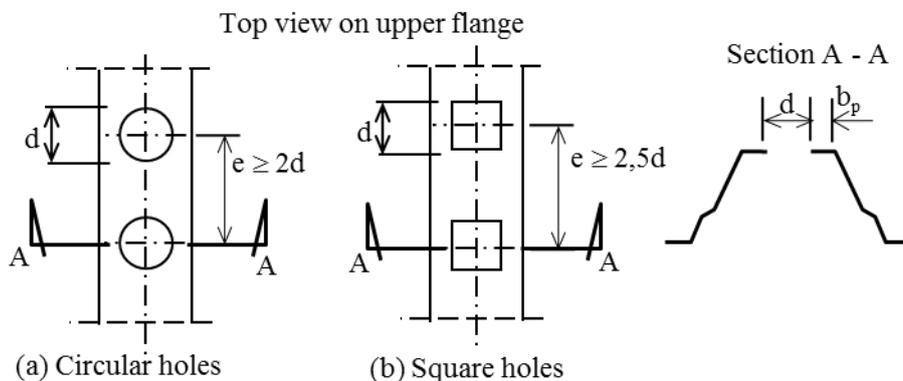


Abbildung 6.2.1 – Quadratisch angeordnete Öffnungen

6.3. Bemessungsverfahren

6.3.1. Effektiver Querschnitt eines Profils mit einer Öffnung

Bei einer runden oder quadratischen Öffnung im zusammengedrückten oberen Gurt kann die wirksame Breite der an die Stege angrenzenden Gurtteile als Elemente der Breite b_p bestimmt werden.

6.3.2. Momententragfähigkeit von Profilen mit quadratisch angeordneten Öffnungen

Die Momententragfähigkeit eines Querschnitts für Biegung um eine Hauptachse $M_{c,Rd}$ wird nach EN 1993-1-3 Kapitel 6.1.4 „Biegung“ wie folgt ermittelt:

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

Das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} sollte mit dem wirksamen Querschnitt berechnet werden, der nur dem Biegemoment um die jeweilige Hauptachse unterliegt.

Die maximale Spannung $\sigma_{\max,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$ und die Auswirkung von lokalem Beulen und Forminstabilität wird gemäß Abschnitt 5.5 und 7.1 berücksichtigt.

7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN

Sachverhalte, die in diesen Bemessungsregeln nicht behandelt werden:

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

8. ERLÄUTERUNG DER SOFTWAREBERECHNUNG

Die Software ermöglicht eine Berechnung der Momenten Tragfähigkeit für ein Profil mit einer Öffnung in einem Obergurt, einer Aussteifung in den anderen Obergurten sowie einer Aussteifung in den Stegen.

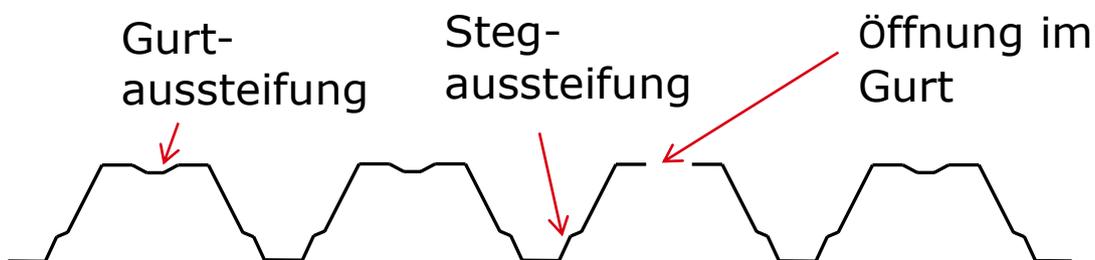


Abbildung 8.1 - Trapezprofil mit einer Aussteifung sowie einer Öffnung im Obergurt und einer Aussteifung im Steg

8.1. DATA

Alle roten Zellen müssen mit den Profilabmessungen gefüllt werden (Abbildungen 8.1.1 und 8.1.2): Innenradius R , Winkel θ , Konstruktionsdicke t , Nenndicke t_{nom} , Breite, Steghöhe h_w , Höhe des Stegteils über der Aussteifung h_a , Höhe der Aussteifung h_{sa} , Höhe der Gurtaussteifung d_s , Fließgrenze f_{yb} , E-Modul, Breite des Obergurtes b_0 , Durchmesser der Öffnung d :

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	R3 (mm)	θ_3 (rad)
t (mm)	t_{nom} (mm)	Pitch (mm)	hw (mm)	h_a (mm)	h_{sa} (mm)	d_s (mm)
f_{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}	b_0 (mm)	d (mm)		

Tabelle 8.1.1 - Exceltabelle, in die die Profilabmessungen eingetragen werden sollen

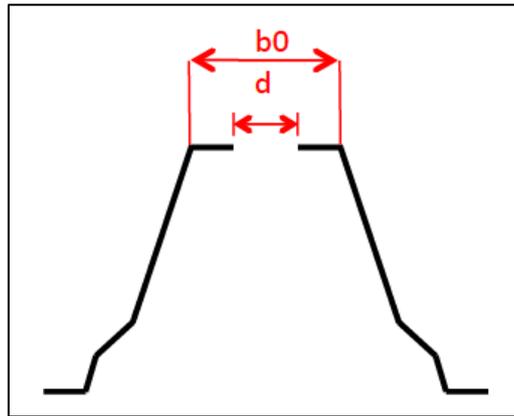


Abbildung 8.1.1 – Abmessungen der Öffnung

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

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

Tabelle 8.1.2 - Exceltabelle, die mit den Abmessungen der Elemente gefüllt werden soll

Zusätzlich ist in der folgenden roten Zelle die Anzahl von Gurten ohne Öffnung anzugeben.

Number of upper flanges without a hole	
--	--

Tabelle 8.1.3 - Exceltabelle, die mit der Anzahl von Gurten ohne Öffnung gefüllt werden soll

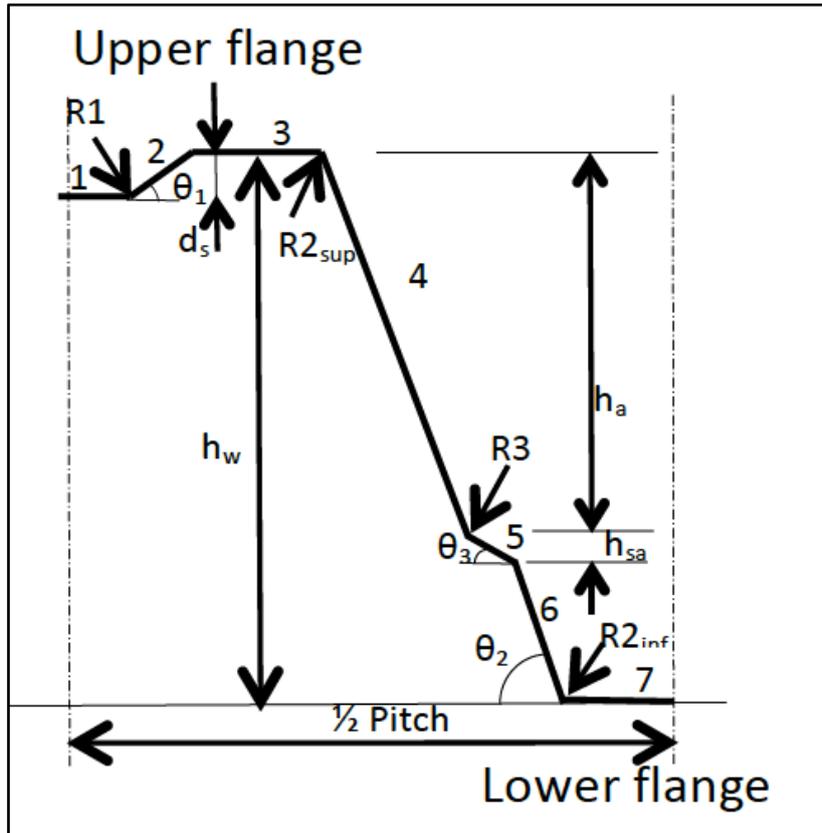


Abbildung 8.1.2 - Elementnummern und Parameter (1/2 Profilwelle ohne Öffnung)

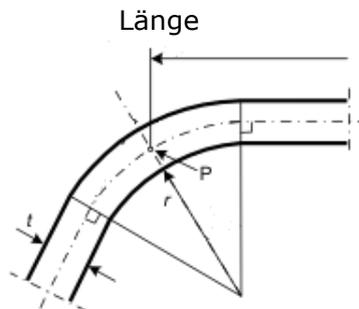


Abbildung 8.1.3 - Länge der Elemente, gemessen vom Mittelpunkt " P "

8.2. Überprüfung der geometrischen Verhältnisse

Die rote Zelle in Tabelle 8.2.1 ist mit der Abmessung der Breite b zu füllen.

Die Software zeigt automatisch die Kontrolle der geometrischen Verhältnisse an.

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

Tabelle 8.2.1 - Automatische Überprüfung der geometrischen Verhältnisse

8.3. Ergebnisse

Die Software zeigt die Ergebnisse automatisch an:

⇒ Momententragfähigkeit im Feld

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

9. BEMESSUNGSBEISPIEL

Dieses Beispiel zeigt, wie man Stahlprofile mit einer quadratischen oder runden Öffnung in einem Gurt bemisst. Die Tragfähigkeit eines Profilbleches wird mit Aussteifungen in den anderen Obergurten und einer Aussteifung in den Stegen bestimmt.

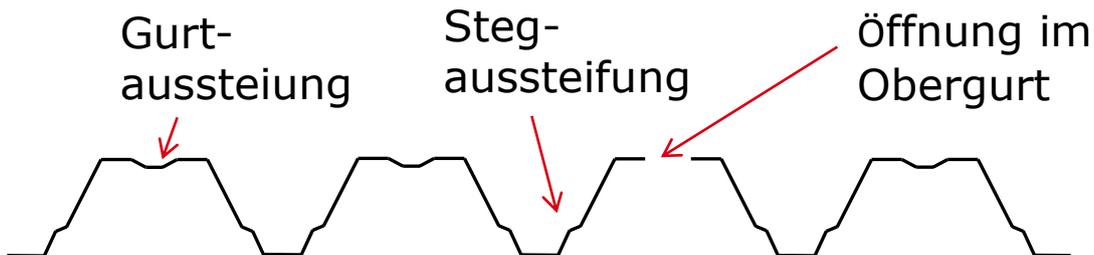


Abbildung 9.1 – Trapezprofil mit einer Aussteifung sowie einer Öffnung im Obergurt und einer Aussteifung im Steg

9.1. Profilquerschnitt

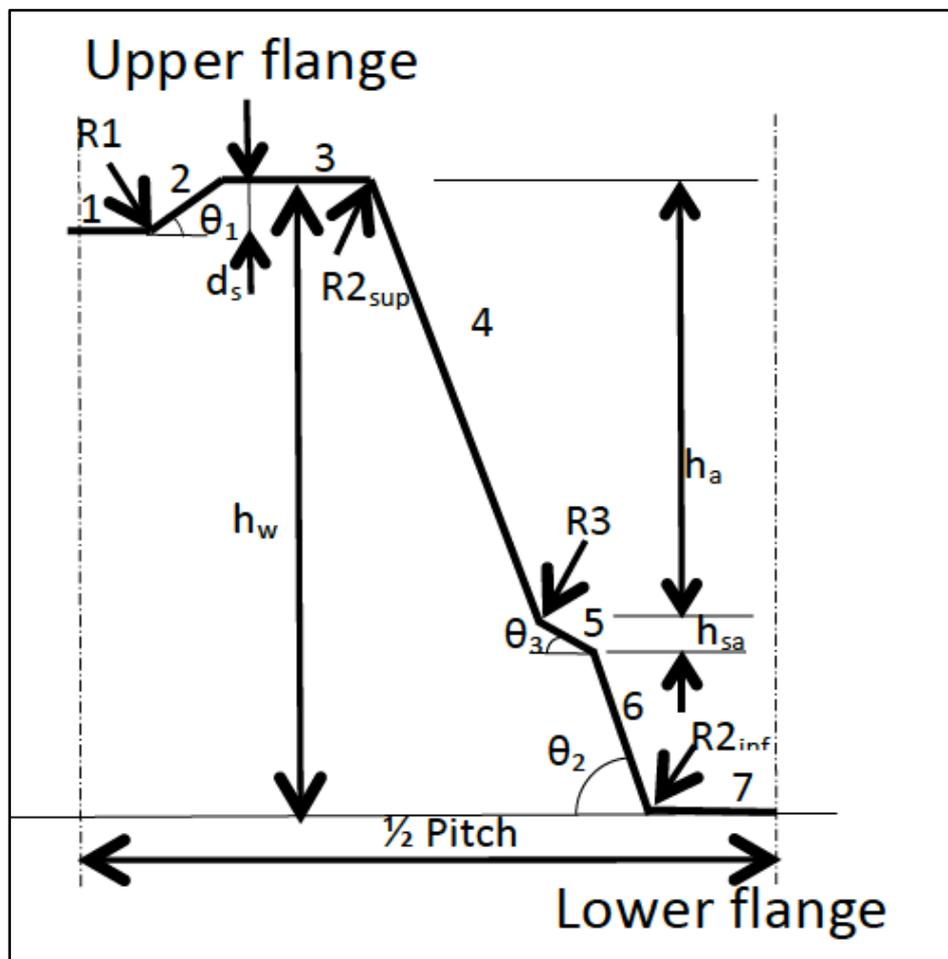


Abbildung 9.1.1 – Profilquerschnitt ohne Öffnung im Gurt

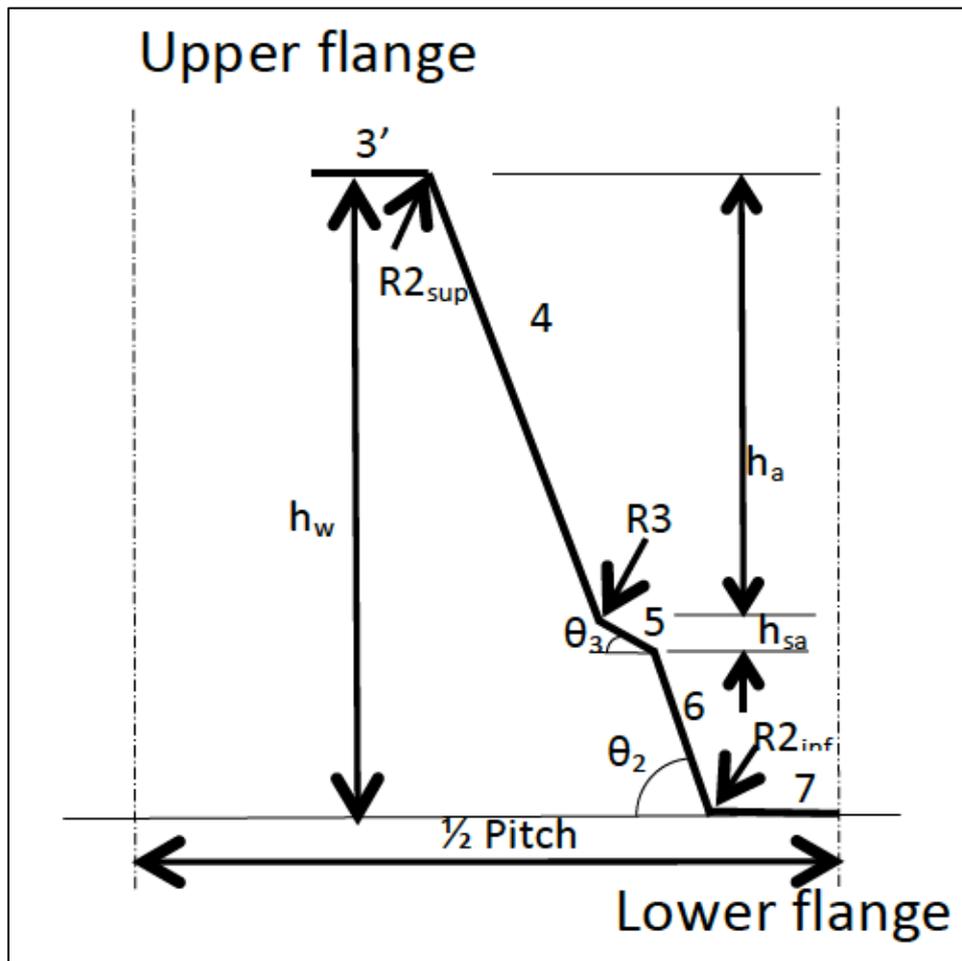


Abbildung 9.1.2 - Profilquerschnitt mit Öffnung im Gurt

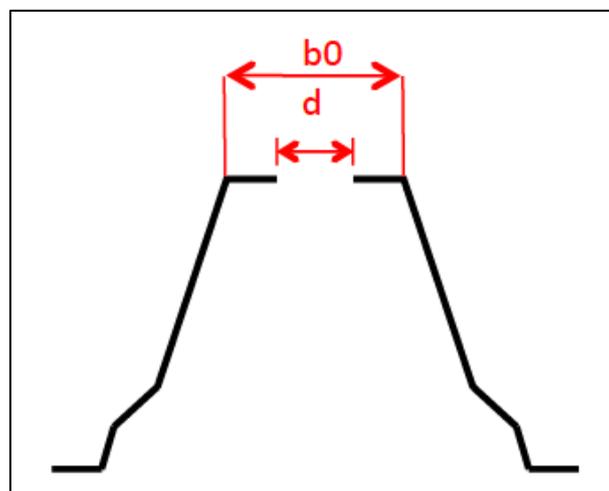


Abbildung 9.1.3 – Abmessungen der Öffnung im Gurt

9.1.1. Angaben zum Profil

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

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	R3 (mm)	θ_3 (rad)
0	0.22	6	6	1.31	3	0.99

t_{nom} (mm)	t (mm)	Pitch (mm)	h_w (mm)	h_a (mm)	h_{sa} (mm)	d_s (mm)
0.75	0.71	195	73	45	9	3

f_{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	ν_{M0}	b0 (mm)	d (mm)
320.00	210000.00	1.00	125	90.00

Tabelle 9.1.1.1 - Angaben zum Profil

Element	b_{pi} (mm)
1	0.00
2	15.30
3	47.50
4	45.44
5	10.38
6	18.52
7	12.00

Tabelle 9.1.1.2 - Abmessungen der einzelnen Elemente

9.1.2. Überprüfung der geometrischen Verhältnisse

$b = 125$; $t = 0.71$; $h = 73$; $f_y = 320$ N/mm²

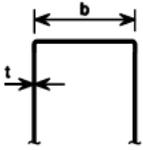
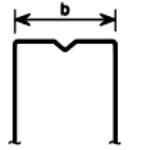
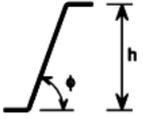
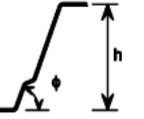
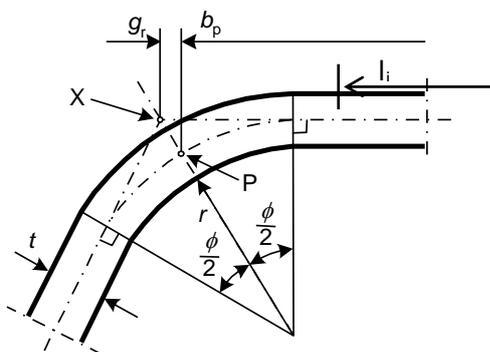
	$b = 125.00$			$b/t \leq 500$
	$b/t = 176.06$			
	$\theta_2 = 75.00$			$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
	$h/t = 102.82$			
	$500 \sin(\theta_2) = 482.96$			$h/t \leq 500 \sin \phi$
$r < 0,04 t E / f_y$	18.64			

Tabelle 9.1.2.1 - Überprüfung der geometrischen Verhältnisse

9.2. Berechnung der Bruttogesamtfläche A_g

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

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 9.2.1 - Nennbreiten der ebenen Querschnittsteile b_p unter Berücksichtigung von Eckenradien

9.2.1. Berechnung der Bruttogesamtfläche A_g ohne Öffnung

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
1	0.0	0.0	70.0	0.00	-21.2
Corner 1 _{inf}	0.0	0.0	70.0	0.00	-21.2
2	15.3	10.9	71.5	776.56	-22.7
Corner 1 _{sup}	0.0	0.0	73.0	0.00	-24.2
3	43.8	31.1	73.0	2272.61	-24.2
Corner 2 _{sup}	7.9	5.6	71.4	398.30	-22.6
4	40.4	28.7	50.5	1447.25	-1.7
Corner 3 _{sup}	3.0	2.1	28.0	59.04	20.8
5	7.5	5.3	23.5	125.58	25.3
Corner 3 _{inf}	3.0	2.1	19.0	40.07	29.8
6	13.4	9.5	9.5	90.70	39.3
Corner 2 _{inf}	7.9	5.6	1.6	8.77	47.3
7	8.3	5.9	0.0	0.00	48.8
TOTAL		106.8		5218.9	48.8

Tabelle 9.2.1.1 - Abmessungen der einzelnen Elemente

$$A_g = 106.8 \text{ mm}^2$$

Lage der neutralen Achse: $z_G = S / A_g = 48.8 \text{ mm}$

9.2.2. Berechnung der Bruttogesamtfläche A_g mit Öffnung

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
3'	13.8	9.8	73.0	717.71	-24.2
Corner 2 _{sup}	7.9	5.6	71.4	398.30	-22.6
4	40.4	28.7	50.5	1447.25	-1.7
Corner 3 _{sup}	3.0	2.1	28.0	59.04	20.8
5	7.5	5.3	23.5	125.58	25.3
Corner 3 _{inf}	3.0	2.1	19.0	40.07	29.8
6	13.4	9.5	9.5	90.70	39.3
Corner 2 _{inf}	7.9	5.6	1.6	8.77	47.3
7	8.3	5.9	0.0	0.00	48.8
TOTAL		74.7		2887.4	38.7

Tabelle 9.2.2.1 - Abmessungen der einzelnen Elemente

$$A_g = 74.7 \text{ mm}^2$$

Lage der neutralen Achse: $z_G = S / A_g = 38.7 \text{ mm}$

9.3. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} – 1. Schritt der Iteration

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

9.3.1. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} ohne Öffnung

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

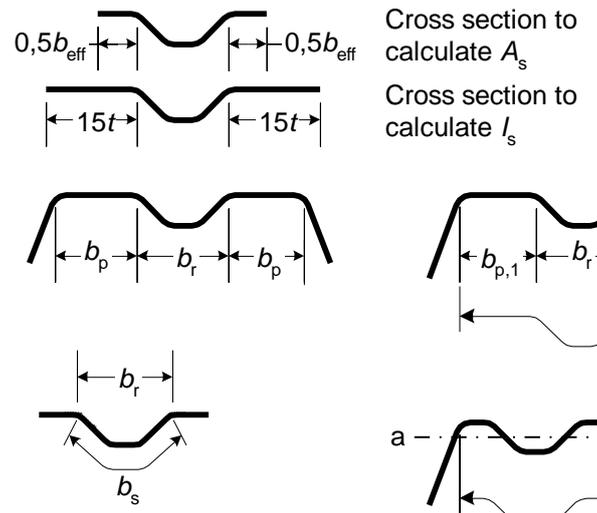


Abbildung 9.3.1.1 - Gurt mit einfacher oder mehrfacher Aussteifung

Die Spannung im Obergurt beträgt: $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 158 \text{ N / mm}^2$

$b_p = 47.5 \text{ mm}$

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

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

$$\lambda_p = 1.374$$

$$\lambda_{pred} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 0.966$$

$$\lambda_{pred} > 0.673 \rightarrow \rho = \frac{1 - 0.055(3 + \psi) / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0.18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0.6)} \rightarrow \rho = 0.894$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 42.5 \rightarrow \boxed{0,5 b_{eff} = 21.2 \text{ m}}$$

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:

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

$$b_s = 30.6 \text{ mm}, b_p = 47.5 \text{ mm}$$

Berechnung von A_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)
plane part	21.23	15.08
Corner l_{sup}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner l_{inf}	0.00	0.00
2	0.00	0.00
Corner l_{inf}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner l_{sup}	0.00	0.00
plane part	21.23	15.08
TOTAL		51.9

Tabelle 9.3.1.1 - Längen und Flächen der einzelnen Elemente

$$A_s = 51.9 \text{ mm}^2$$

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	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
1	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.71	0.00
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
plane part	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
TOTAL		36.8		32.6	0.88		40.4

Tabelle 9.3.1.2 - Flächenträgheitsmomente der einzelnen Elemente

$$I_s = 40.4 \text{ mm}^4$$

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

$$l_b = 254.9$$

$$s_w = 73.7$$

$$l_b / s_w = 3.5 \geq 2 \rightarrow k_w = k_{w0}$$

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

$$k_{w0} = 1.54$$

$$\boxed{\text{Elastische kritische Spannung } \sigma_{cr,s} = 76.8 \text{ N/mm}^2}$$

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

$$\bar{\lambda}_d = 2.04$$

$$S_{\text{eff},n} = 0,6S_n$$

Wirksame Fläche des Unterquertes

Der Untergurt ist unter Zugbelastung → alle Breiten sind voll wirksam

Wirksame Gesamtfläche

Berechnung von A_{eff}

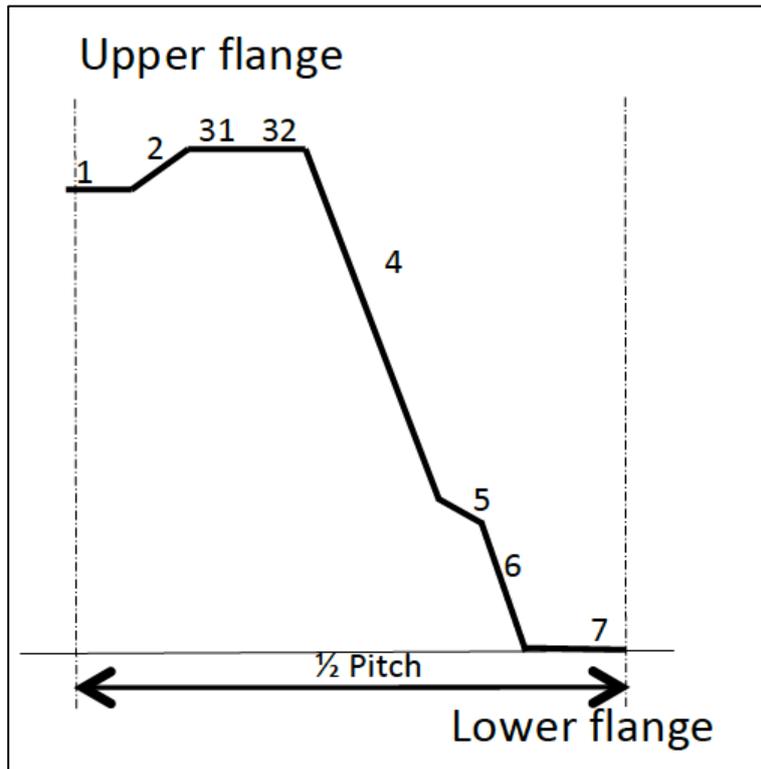


Abbildung 9.3.1.3 - einzelne Elementnummern

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	0.0	0.46	0.0	70.00	0.00	-23.97
Corner 1 _{inf}	0.0	0.46	0.0	70.00	0.00	-23.97
2	15.3	0.46	7.1	71.50	507.80	-25.47
Corner 1 _{sup}	0.0	0.46	0.0	73.00	0.00	-26.97
31	23.8	0.46	11.0	73.00	804.94	-26.97
32	17.6	0.71	12.5	73.00	911.17	-26.97
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-25.40
4	40.4	0.71	28.7	50.50	1447.25	-4.47
Corner 3 _{sup}	3.0	0.71	2.1	28.00	59.04	18.03
5	7.5	0.71	5.3	23.50	125.58	22.53
Corner 3 _{inf}	3.0	0.71	2.1	19.00	40.07	27.03
6	13.4	0.71	9.5	9.50	90.70	36.53
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	44.45
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	46.03
TOTAL			95.5		4393.6	46.0

Tabelle 9.3.1.3 - Länge und Fläche der einzelnen Elemente

$$A_{\text{eff}} = 95.5 \text{ mm}^2$$

Die Lage der neutralen Achse vom wirksamen Querschnitt beträgt: $z_G = 46.0 \text{ mm}$

9.3.2. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} mit Öffnung

Die wirksame Flanschfläche wird nach EN 1993-1-5 mit der Bruttoquerschnittsfläche A_c berechnet:

$A_{c,\text{eff}} = \rho A_c$ wobei ρ der Reduktionsfaktor für die Plattenbeulung ist.

Beide Teile des Gurtes mit Öffnung sind stark gedrückt und der Reduktionsfaktor ρ beträgt:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

Die Nennbreite b wird nach Tabelle 4.2 aus EN 1993-1-5 "Plattenförmige Bauteile" ermittelt.

Die Spannung im Obergurt beträgt $\sigma_{\text{com}} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 284 \text{ N / mm}^2$

$$b_p = 17.5 \text{ mm}$$

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

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1 \rightarrow \text{Koeffizient } k_\sigma = 0.43$$

$$\lambda_p = 1.544$$

$$\lambda_{\text{pred}} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com}}}{f_{y0} / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{\text{pred}1} = 1.455$$

$\lambda_{\text{pred}} > 0.748$ und $\sigma_{\text{com}} = 284 \text{ N / mm}^2 < 320 \text{ N / mm}^2 < 320$

$$\rightarrow \rho = \frac{1 - 0,188 / \bar{\lambda}_{p,\text{red}}}{\bar{\lambda}_{p,\text{red}}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,\text{red}})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \rightarrow \rho = 0.615$$

$$b_{\text{eff}} = \rho * b_p = 10.8 \rightarrow \boxed{0,5 b_{\text{eff}} = 5.4 \text{ m}}$$

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.

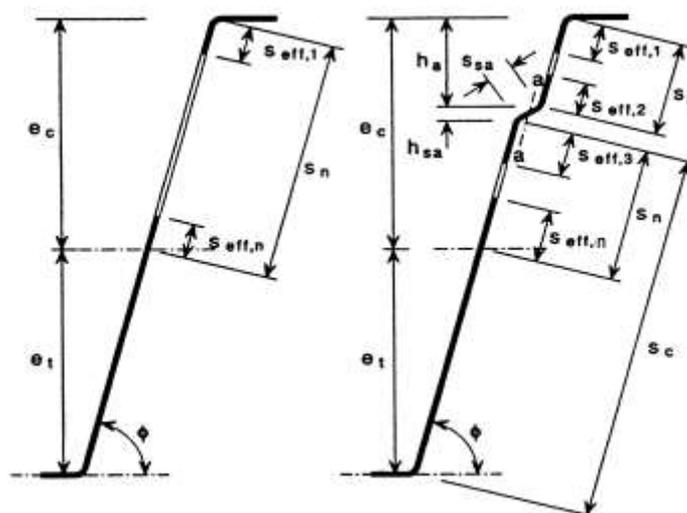


Abbildung 9.3.2.1 - Wirksame Querschnittsflächen von trapezförmig profilierten Stegen

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
3'	1.7	0.7	1.2	73.0	89.7	-38.8
Corner 2 _{sup}	7.9	0.7	5.6	71.4	398.3	-37.2
4	40.4	0.7	28.7	50.5	1447.3	-16.3
Corner 3 _{sup}	3.0	0.7	2.1	28.0	59.0	6.2
5	7.5	0.7	5.3	23.5	125.6	10.7
Corner 3 _{inf}	3.0	0.7	2.1	19.0	40.1	15.2
6	13.4	0.7	9.5	9.5	90.7	24.7
Corner 2 _{inf}	7.9	0.7	5.6	1.6	8.8	32.6
7	8.3	0.7	5.9	0.0	0.0	34.2
TOTAL			66.1		2259.4	34.2

Tabelle 9.3.2.1 - Länge und Fläche der einzelnen Elemente

$$A_{\text{eff}} = 66.1 \text{ mm}^2$$

Die Lage der neutralen Achse vom wirksamen Querschnitt beträgt: $z_G = 34.2 \text{ mm}$

9.4. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} – Nächste Iteration

9.4.1. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} ohne Öffnung

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}	188	195	197
	ρ	0.827	0.810	0.806
	$0,5 b_{1,\text{eff}}$	19.63	19.24	19.15
Upper flange stiffener	$\sigma_{\text{cr,s}}$	80.31	81.22	81.43
	χ_d	0.33	0.33	0.33
	t_{red}	0.40	0.39	0.38
Web	e_c	27.0	27.7	27.8
	S_n	27.0	27.7	27.9
	$S_{\text{eff},0}$	22.6	22.1	22.0
	$S_{\text{eff},1}$	22.6	22.1	22.0
	$S_{\text{eff},n}$	33.9	33.2	33.0
	$S_{\text{eff},1} + S_{\text{eff},n}$	56.4	55.3	55.0
		entire web is effective	entire web is effective	entire web is effective
	$S_{\text{eff},1}$	0,4sn	0,4sn	0,4sn
	$S_{\text{eff},n}$	0,6sn	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	93.0	92.4	92.3
Position of neutral axis	z_c	45.3	45.2	45.1

Tabelle 9.4.1.1 – Ergebnisse der Schritte 2,3 und 4

9.4.2. Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} mit Öffnung

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 und 3 sind in der folgenden Tabelle angegeben. Die Konvergenz wird in Schritt 3 als zufriedenstellend angesehen und die Iteration endet in Schritt 3.

		2nd step	3rd step
Upper flange	σ_{com}	320	320
	ρ	0.569	0.569
	$0,5 b_{1,\text{eff}}$	4.98	4.98
Web	e_c	38.8	39.0
	S_n	39.2	39.4
	$S_{\text{eff},0}$	17.3	17.3
	$S_{\text{eff},1}$	17.3	17.3
	$S_{\text{eff},n}$	25.9	25.9
	$S_{\text{eff},1} + S_{\text{eff},n}$	43.2	43.2
		entire web is effective	entire web is effective
		$S_{\text{eff},1}$	0,4sn
	$S_{\text{eff},n}$	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	65.8	65.8
Position of neutral axis	z_c	34.0	34.0

Tabelle 9.4.2.1 – Ergebnisse der Schritte 2 und 3

9.5. Berechnung der Momententragfähigkeit

9.5.1. Berechnung der Momententragfähigkeit ohne Öffnung

Die Momententragfähigkeit wird mit den Daten aus Schritt 4 berechnet:

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
1	0.0	0.38	0.0	70.00	0.00	-24.87	0.71	0.00
Corner 1 _{inf}	0.0	0.38	0.0	70.00	0.00	-24.87	0.00	0.00
2	15.3	0.38	5.9	71.50	419.41	-26.37	3.30	4085.73
Corner 1 _{sup}	0.0	0.38	0.0	73.00	0.00	-27.87	0.00	0.00
31	23.8	0.38	9.1	73.00	664.83	-27.87	0.71	7076.68
32	17.6	0.71	12.5	73.00	911.17	-27.87	0.71	9698.82
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-26.30	0.00	3867.93
4	40.4	0.71	28.7	50.50	1447.25	-5.37	38.99	4458.17
Corner 3 _{sup}	3.0	0.71	2.1	28.00	59.04	17.13	0.00	618.79
5	7.5	0.71	5.3	23.50	125.58	21.63	6.29	2516.63
Corner 3 _{inf}	3.0	0.71	2.1	19.00	40.07	26.13	0.00	1439.62
6	13.4	0.71	9.5	9.50	90.70	35.63	12.99	12251.28
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	43.55	0.00	10587.71
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	45.13	0.71	12068.76
TOTAL			92.3		4165.1	45.1		68670.1

Tabelle 9.5.1.1 – Daten aus Schritt 4

Trapezprofile mit Öffnungen

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

Für eine halbe Profilwelle: $I_{eff} = 68670 \text{ mm}^4$

Für 1 m: $I_{eff} = 704 \text{ mm}^3$

$$v = \max(45.1; 27.9) = 45.1 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 15.6 \text{ mm}^3$$

Momententragfähigkeit ohne Öffnung:

$$\mathbf{M = 4,99 \text{ kNm/m}}$$

9.5.2. Berechnung der Momententragfähigkeit mit Öffnung

Die Momententragfähigkeit wird mit den Daten aus Schritt 3 berechnet:

Element	I_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
3	1,3	0,7	0,9	73,0	68,6	-39,0	0,7	1427,3
Corner 2 _{sup}	7,9	0,7	5,6	71,4	398,3	-37,4	0,0	7811,6
4	40,4	0,7	28,7	50,5	1447,3	-16,5	39,0	11409,9
Corner 3 _{sup}	3,0	0,7	2,1	28,0	59,0	6,0	0,0	76,9
5	7,5	0,7	5,3	23,5	125,6	10,5	6,3	609,5
Corner 3 _{inf}	3,0	0,7	2,1	19,0	40,1	15,0	0,0	476,3
6	13,4	0,7	9,5	9,5	90,7	24,5	13,0	5876,2
Corner 2 _{inf}	7,9	0,7	5,6	1,6	8,8	32,5	0,0	5882,7
7	8,3	0,7	5,9	0,0	0,0	34,0	0,7	6861,2
TOTAL			65,8		2238,3	34,0		40431,5

Tabelle 9.5.2.1– Daten aus Schritt 3

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

Für eine halbe Profilwelle: $I_{eff} = 40431.5 \text{ mm}^4$

Für 1 m: $I_{eff} = 415 \text{ mm}^3$

$$v = \max(34.0; 39.0) = 39 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 10.6 \text{ mm}^3$$

Momententragfähigkeit mit Öffnung:

$$\mathbf{M_{hole} = 3.4 \text{ kNm/m}}$$

9.5.3. Berechnung der Momententragfähigkeit im Feld

Der Momentenwiderstand des Profils mit n_{ribs} ist der Mittelwert aus Profilwellen ohne Öffnungen (hier 3; M) und Profilwellen mit Öffnungen (hier 1; M_{hole}).

Die Momententragfähigkeit beträgt:

$$M_{span} = (3 \cdot M + M_{hole}) / n_{ribs} = (3 \times 4,99 + 3.4) / 4 \quad \mathbf{M_{span} = 4.6 \text{ kNm/m}}$$

10. AUTOMATISCHE KONTROLLE DER SOFTWARE

Die automatische Kontrolle basiert auf dem vorherigen Beispiel.

Berechnung der Momententragfähigkeit:

Das berechnete Feldmoment im vorigen Beispiel beträgt: $\mathbf{M_{span} = 4.6 \text{ kNm/m}}$

Trapezprofile mit Öffnungen

Das Ergebnis der Software ist: $M_{\text{span}} = 4.6 \text{ kNm/m}$

Die Ergebnisse sind identisch.

11. LITERATUR

- [1] Aurubis, Nordic Systems Copper Facade, Roof and Rainwater Structures Luvata, 2007.
- [2] DIN 18807-3 Trapezoidal sheeting in building; trapezoidal steel sheeting; structural analysis and design.
- [3] Chow F.Y, Narayan R. Buckling of plates containing openings, 1984.
- [4] Azhari M., Shahidi A.R, Saadatpour M. M, Local and post buckling of stepped and perforated thin plates 2005.
- [5] Buckling of plates containing opening, 7th International speciality conference on cold formed steel structure St Louis, USA G.
- [6] Narayan R., Chow F.Y, Strength of biaxially compressed perforated plates, 1984.
- [7] Paik J.K, Ultimate strength of perforated steel plates under edge sheer loading, Thin-Walled Structures 45, 2007.
- [8] Shanmugan N.E, Design formula for axially compressed perforated plates, Thin-Walled Structures, 34, 1999.

ANHANG 1

Hintergrund des neuen Bemessungsverfahrens für Profilbleche mit Perforierungen:

D3.1	GRISPE WP3 Hintergrunddokument	Anna PALISSON (Sokol Palisson Berater)
D3.2	GRISPE WP3 Versuchsaufbau	Anna PALISSON (Sokol Palisson Berater)
D3.3	GRISPE Versuchsprotokoll	Christian FAUTH (KIT)
D3.4	GRISPE WP3 Analyse und Interpretation der Versuche	Anna PALISSON (Sokol Palisson Berater)
D3.5	GRISPE WP3 Hintergrundinformation für EN 1993-1-3 zur Bemessung von Blechen mit Perforation oder mit Öffnung	Anna PALISSON (Sokol Palisson Berater)