

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP Nr.: 2

WP Titel: E-Lectures

Deliverable Nr.: D3.1

Titel: Kassettenprofile

Datum: 31. Juli 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)

Markus KUHNHENNE, Dominik PYSCHNY, Lisa KRAMER
RWTH Aachen University

Zeichnungshistorie

ENDFASSUNG – DATUM: 31. Juli 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)	



BEMESSUNGSREGEL FÜR KASSETTENPROFILE

Unterstützt durch RFCS – Förderungsvereinbarung Nr. 754092

ENDFASSUNG

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.

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Bemessungsregel ist es, ein neues Bemessungsverfahren für Kassettenprofile vorzustellen, welches in dem europäischen Projekt GRISPE PLUS, basierend auf zuvor erzielten Ergebnissen im erfolgreich abgeschlossenen Projekt GRISPE, entwickelt wurde.

Die Bemessungsregeln 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 Kassettenprofile basiert auf Versuchen, die im Rahmen des europäischen Projekts GRISPE (2013-2016) durchgeführt wurden.

Der Hintergrund dieses Verfahrens ist im Anhang beschrieben.

Im Einzelnen:

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, einschließlich der Überprüfung der Anwendungsfelder des erweiterten Bemessungsverfahrens.

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

Kapitel 4 gibt die Materialeigenschaften der Profile an.

Kapitel 5 berücksichtigt die zu betrachtenden Einwirkungen und Lastfallkombinationen.

Kapitel 6 erklärt die Bemessungsgrundsätze.

Kapitel 7 gibt besondere Bemessungsbetrachtungen an, die nicht in den Regeln berücksichtigt werden.

Kapitel 8 erklärt im Einzelnen die für Kassettenprofile entwickelte Software.

Kapitel 9 enthält ein Bemessungsbeispiel des erweiterten neuen Bemessungsverfahrens.

Ein Literaturverzeichnis ist enthalten.

WICHTIGE ANMERKUNG

Die experimentellen Daten, das neue Bemessungsverfahren sowie die Software wurden durch Rainer Holz, IFL – ING LEICHTBAU und Daniel Ruff sowie Christian Fauth, KIT -KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE gewonnen und zur Verfügung gestellt.

VORWORT

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

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

Diese Bemessungsregeln wurden von Lisa Kramer und Dominik Pyschny basierend auf den experimentellen Daten und Überlegungen verfasst, die bereits in dem erfolgreich abgeschlossenen Forschungsprojekt GRISPE getätigt wurden; die Bemessungsregeln wurden 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
Walter SALVATORE	Italien
Léopold SOKOL	Frankreich
Daniel SPAGNI	Frankreich

ABBILDUNGEN

Die Abbildungen sind den folgenden Quellen entnommen:

Abbildung 1.1.1	Kopie von EN 1993-1-3
Abbildung 1.1.2	Kopie von EN 1993-1-3
Abbildung 1.2.1	Internationaler Verband für den Metallleichtbau (IFBS)
Abbildung 1.3.1	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 1.3.2	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 1.3.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Erreur ! Source du renvoi introuvable.	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 2.2.1	Kopie von EN 1993-1-3
Abbildung 6.3.1	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 6.3.2	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 6.3.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 6.3.4	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 6.3.5	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 8.2.1	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 8.3.1	Entnommen aus Excel-Software
Erreur ! Source du renvoi introuvable.	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 8.3.3	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 8.4.1	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.1.1	Bacacier
Abbildung 9.1.2	Bacacier
Abbildung 9.1.3	Internationaler Verband für den Metallleichtbau (IFBS)
Abbildung 9.1.4	RWTH Aachen
Abbildung 9.1.5	Wurzer Profiliertechnik GmbH
Abbildung 9.2.1	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.2	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE Projekt
Abbildung 9.2.4	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.5	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.6	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.7	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.8	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.9	Entnommen aus Excel-Software
Abbildung 9.2.10	Entnommen aus Excel-Software

INHALTSVERZEICHNIS

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG	10
BEZEICHNUNGEN	11
1. EINLEITUNG	12
1.1. Art der betrachteten Stahlprofile	12
1.2. Stand der Technik	12
1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE	13
1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln	16
2. VORBEMESSUNG.....	17
2.1. Anwendungsfeld des neuen Bemessungsverfahrens.....	17
2.2. Technologische Anordnungen.....	17
3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN	18
4. MATERIALEIGENSCHAFTEN	18
5. EINWIRKUNGEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN	18
6. BEMESSUNGSGRUNDLAGE	19
6.1. Grundlagen	19
6.2. Anwendungsbereich der neuen Bemessungsregel	19
6.3. Bemessungsverfahren	19
7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN	23
8. ERLÄUTERUNG DER SOFTWAREBERECHNUNG	24
8.1. Allgemeiner Ansatz.....	24
8.2. Ausgangsdaten	24
8.3. Erklärung der iterativen Berechnung.....	24
8.4. ERGEBNISSE	25
9. BEMESSUNGSBEISPIEL	26
9.1. Beschreibung des Gebäudes und des statischen Systems	26
9.1.1. Anordnung	26
9.1.2. Profilgeometrie	27
9.1.3. Materialeigenschaften	28
9.2. Berechnung der Profiltragfähigkeit.....	28
9.2.1. Überprüfung der Profilgeometrie	28
9.2.2. Momententragfähigkeit – Druckbeanspruchung im breiten Gurt	28
9.2.3. Momententragfähigkeit – Zugbeanspruchung im breiten Gurt	28
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	34
LITERATURVERZEICHNIS	36
ANHANG	37

UMFANG DER VERÖFFENTLICHUNG

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, das neue Bemessungsverfahren für Kassettenprofile vorzustellen, das zur Aufnahme in den Eurocode EN 1993-1-3 vorgeschlagen wurde.

Diese Bemessungsregeln befassen sich mit aktuellen Situationen.

Für Ausnahmesituationen (Erdbeben, Feuer, usw.) sind die entsprechenden Bestimmungen der Eurocodes und/oder EN 1090-4 zu beachten.

BEZEICHNUNGEN

Die folgenden Symbole werden nachfolgend verwendet:

h : Profilhöhe

t : Bemessungsdicke

b_f : Breite eines schmalen Gurtes

b_u : Breite des breiten Gurtes

c : Breite der Abkantung eines schmalen Gurtes

$b_{u,eff}$: wirksame Breite des breiten Gurtes

e_0 : Abstand von der Schwereachse des Bruttoquerschnitts zur Schwereachse des schmalen Gurtes

L : Spannweite des Kassettenprofils

t_{eq} : äquivalente Blechdicke des schmalen Gurtes

I_a : Flächenträgheitsmoment des breiten Gurtes

$I_{y,eff}$: wirksames Flächenträgheitsmoment

W_{eff} : wirksames Widerstandsmoment

f_{yb} : Streckgrenze

γ_{M0} : Teilsicherheitsbeiwert

$M_{b,Rd}$: Momententragfähigkeit von Kassettenprofilen

β_b : Korrelationsfaktor

s_1 : Abstand der Verbindungsmittel in den schmalen Gurten, zur Aussteifung der schmalen Gurte

y_{sf} : Lage der neutralen Faser bei seitlichem Ausweichen

A_{sf} : wirksame Fläche des Druckgurtes

I_{sf} : wirksames Flächenträgheitsmoment für Biegung um die z-z-Achse

1. EINLEITUNG

1.1. Art der betrachteten Stahlprofile

Diese Bemessungsregeln beschäftigen sich mit Kassettenprofilen. Das Verfahren zeigt die Verbesserung des Abminderungsbeiwerts β_b sowie die Vergrößerung des Anwendungsbereichs für den Abstand der Verbindungsmittel s_1 zwischen der äußeren Schale und dem schmalen Gurt.

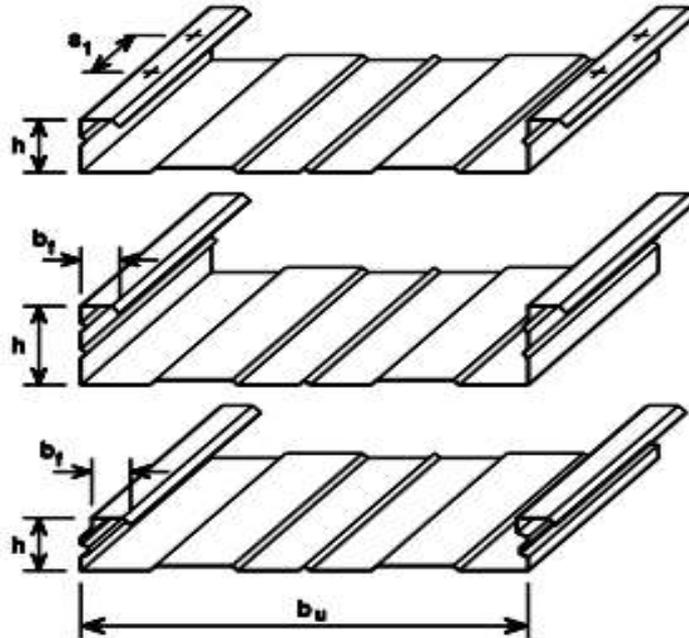


Abbildung 1.1.1 – Erläuterung des Verbindungsmittelabstandes s_1

$$\begin{array}{rcl}
 0,75 \text{ mm} & \leq & t_{\text{nom}} & \leq & 1,5 \text{ mm} \\
 30 \text{ mm} & \leq & b_f & \leq & 60 \text{ mm} \\
 60 \text{ mm} & \leq & h & \leq & 200 \text{ mm} \\
 300 \text{ mm} & \leq & b_u & \leq & 600 \text{ mm} \\
 & & I_a/b_u & \leq & 10 \text{ mm}^4/\text{mm} \\
 & & s_1 & \leq & 1000 \text{ mm}
 \end{array}$$

Abbildung 1.1.2 – Anwendungsgrenzen von Kassettenprofilen

1.2. Stand der Technik

Kassettenprofile sind dünnwandige Bauteile des Metallleichtbaus und werden als die innere Schale eines zweischaligen Wandsystems genutzt, wie in Abbildung 1.2.1 zu sehen.

Trapezprofile oder Wellprofile werden als Außenschale verwendet und direkt oder mittels Distanzprofilen an den schmalen Gurten der Kassettenprofile befestigt. Bei Verwendung von Distanzprofilen kann der Abstand der Verbindungsmittel aufgrund der Unabhängigkeit von der Profilgeometrie größer gewählt werden.



Abbildung 1.2.1 – Kassettenprofilwände

Während die Außenschale als Wetterschutz fungiert, erfüllt das Kassettenprofil eine tragende Funktion. Zudem werden die schmalen Gurte durch die Schubsteifigkeit der Außenschale stabilisiert.

In der Europäischen Norm EN 1993-1-3 ist das Bemessungsverfahren für Kassettenprofile in Absatz 10.2 angegeben. Das Bemessungskonzept unterscheidet zwischen Druck und Zug im breiten Gurt. Bei Zug im breiten Gurt ergibt sich das maximale Biegemoment zu

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

welches durch einen Abminderungsbeiwert verringert wird:

$$\beta_b = 1,15 - s_1/2000$$

Dadurch wird die Wirkung des Verbindungsmittelabstands s_1 von über 300 mm berücksichtigt. Wenn der Abstand zwischen den Befestigungen kleiner als 300 mm ist, muss das Biegemoment nicht abgemindert werden.

Die aktuellen Bemessungsvorgaben bezüglich des Befestigungsabstands sind sehr konservativ und zudem auf einen Verbindungsmittelabstand von $s_1 = 1000$ mm begrenzt, was aufgrund der wachsenden architektonischen und thermischen Anforderungen nicht mehr ausreichend ist.

Die Problematik eines erhöhten Verbindungsmittelabstands s_1 liegt in der Verringerung der Aussteifung durch die Außenschale. Die genauere Untersuchung der Auswirkungen einer reduzierten Schubsteifigkeit ist Teil dieser Forschungsarbeit.

1.3. Zentrale Ergebnisse von GRISPE

Zur Bestimmung und zum Vergleich der Tragfähigkeit von Kassettenprofilwänden mit größeren Befestigungsabständen wurden gemäß EN 1993-1-3 Anhang A umfangreiche Versuchsreihen mit verschiedenen Abständen s_1 durchgeführt:

- $s_1 = 621$ mm
- $s_1 = 1242$ mm
- $s_1 = 1863$ mm
- ohne Befestigung und Außenschale

Die folgenden Versuche wurden zur Bestimmung der Widerstandswerte für Biegung und Stegkrüppeln von Kassettenprofilen mit einem veränderlichen Abstand der Verbindungsmittel in insgesamt 71 Versuchen durchgeführt:

- Einfeldträger-Versuche
- Zwischenaufleger-Versuche
- Zweifeldträger-Versuche

Bemessungsregeln für Kassettenprofile

Die Probekörper für die Einfeldträger- und Zwischenauflagerversuche setzen sich aus einer ganzen und zwei halben Kassettenprofilen zusammen, die in den Stegen miteinander verbunden wurden. Als Außenschale wurde lotrecht zu den Kassettenprofilen ein Trapezprofil angeordnet, das mit dem schmalen Gurten der Kassettenprofile im Abstand s_1 verbunden wurde.

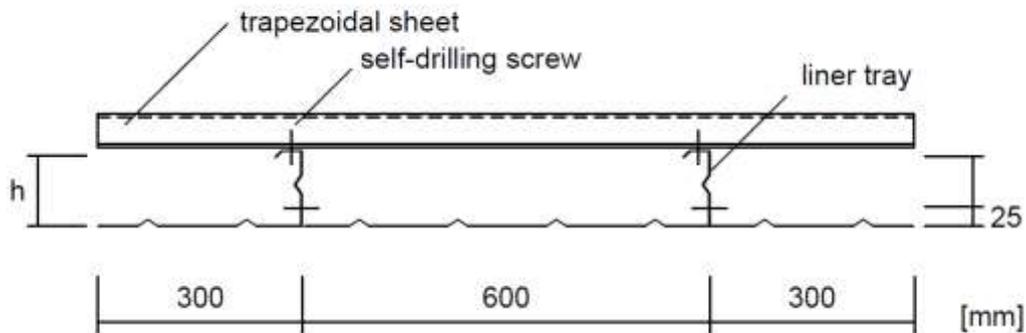


Abbildung 1.3.1 – Versuchsaufbau der Einfeldträger- und Zwischenauflagerversuche

Die Probekörper für die Zweifeldträgerversuche bestehen aus einem ganzen und zwei halben Kassettenprofilen, welche in den Stegen miteinander verbunden wurden. Das Trapezprofil wurde als Außenschale lotrecht zu den Kassettenprofilen mit Distanzprofilen an den schmalen Gurten befestigt.

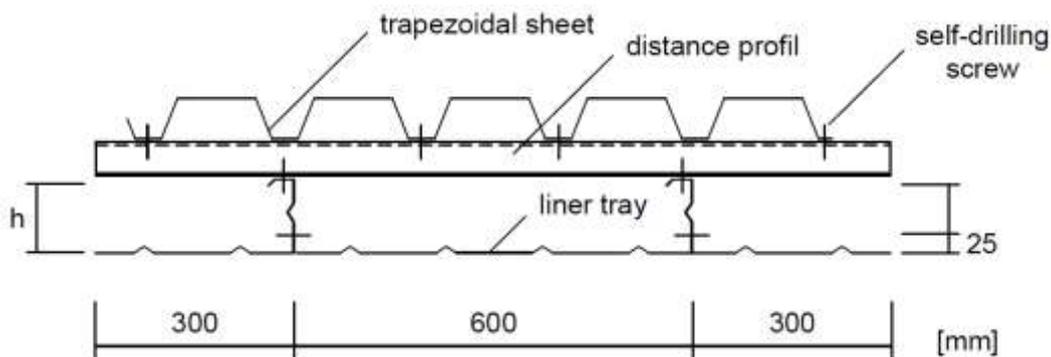


Abbildung 1.3.2 – Versuchsaufbau für Zweifeldträgerversuche

Die Versuche an dem Einfeldträger haben gezeigt, dass bei den Probekörpern ohne Außenschale zusätzlich zur Versagensform eine weitere Möglichkeit des Versagens auftrat. Während die Probekörper mit hinreichender Schubfestigkeit aufgrund von lokalem Beulen versagten, versagten die Probekörper ohne Aussteifung aufgrund von seitlichem Knicken.



Abbildung 1.3.3 – Versagen durch seitliches Knicken des Druckgurtes



Abbildung 1.3.4 – Versagen durch seitliches Ausweichen der schmalen Gurte

1.4. Allgemeine Bemessungsanforderungen und -regeln

Die erweiterte Bemessung von Kassettenprofilen sollte mit den allgemeinen Regeln aus [1] übereinstimmen und mit dem Bemessungsverfahren in [2] verbunden sein.

2. VORBEMESSUNG

2.1. Anwendungsfeld des neuen Bemessungsverfahrens

In Übereinstimmung mit EN 1993-1-3 stellen diese Regeln ein neues Bemessungsverfahren für den Verbindungsmittelabstand s_1 von Kassettenprofilen bis zu einem Abstand von 2000 mm vor.

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

Die Querschnitte werden entweder unverstärkt oder in Längsrichtung an Stegen und Gurten mit Aussteifungen ausgeführt. Die Profilbleche weisen innerhalb der zulässigen Toleranzen über ihre Gesamtlänge eine konstante Nennblechdicke auf und können entweder einen gleichbleibenden oder veränderlichen Querschnitt besitzen. Ein gängiger Querschnitt ist in Abbildung 1.1.1 zu sehen.

Die Querschnittsabmessungen müssen mit den allgemeinen Anforderungen von EN 1993-1-3 übereinstimmen. Das Bemessungsverfahren darf nicht bei Querschnitten angewendet werden, die sich nicht im Toleranzbereich vom Breite/Dicke-Verhältnis b/t , h/t , c/t und d/t (siehe Abbildung 2.2.1) befinden. Wenn nicht anders angegeben, entspricht in Übereinstimmung mit Abschnitt 3.2.4 der EN 1993-1-3 die Bemessungsdicke t der gemessenen Stahlkerndicke abzüglich Toleranzen.

	$b/t \leq 50$
	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
	$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
	$b/t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

Abbildung 2.2.1 – Geometrische Anwendungsgrenzen

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Kassettenprofile sind CE-gekennzeichnet nach Norm EN 1090-1 [3], wenn sie tragend sind, und nach EN 14782 [4], wenn sie nicht tragend sind.

4. MATERIALEIGENSCHAFTEN

Die in der Berechnung verwendeten Materialeigenschaften sollten, wenn nicht anders angegeben, den Anforderungen der EN 1993-1-3, Abschnitt 3 entsprechen.

Die Profildicken sollten die Anforderungen der EN 1993-1-3, Abschnitt 3.2.4 erfüllen.

5. EINWIRKUNGEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN

Die zu berücksichtigenden Einwirkungen und Lastfallkombinationen sind nach [5], [1], [6] und [7] zu bestimmen.

6. BEMESSUNGSGRUNDLAGE

6.1. Grundlagen

Das maximale positive Biegemoment von Kassettenprofilen (breiter Gurt unter Zug) wird im Allgemeinen durch die maximalen aufnehmbaren Druckkräfte der schmalen Gurte begrenzt. Die Druckgurte werden durch die Verbindungen zwischen dem Kassettenprofil und der Außenverkleidung gegen seitliches Ausweichen stabilisiert.

Der Befestigungsabstand s_1 bestimmt die Knicklänge des Druckgurtes und damit die kritische Knicklast des schmalen Gurtes und infolge dessen auch das maximale Biegemoment. Das maximale Biegemoment verhält sich ungefähr proportional zur maximal aufnehmbaren Druckkraft der schmalen Gurte.

Das neue Bemessungsverfahren startet mit dem vierten Schritt der jetzigen Bemessungsmethode aus EN 1993-1-3, Abschnitt 10.2.2.2 „Zugbeanspruchung im breiten Gurt“. Die Änderungen im Bemessungsvorgehen betreffen den Abminderungsbeiwert β_b für die Momententragfähigkeit von Kassettenprofilen.

6.2. Anwendungsbereich der neuen Bemessungsregel

Das folgende Bemessungsvorgehen folgt dem Verfahren nach EN 1993-1-3 und erweitert den maximalen Befestigungsabstand s_1 des Anwendungsbereichs, der in Abbildung 1.1.2 gegeben ist.

Die neuen Anwendungsgrenzen werden nachfolgend angegeben:

$$\begin{aligned}
 0,75 \text{ mm} &\leq t_{nom} \leq 1,5 \text{ mm} \\
 30 \text{ mm} &\leq b_f \leq 60 \text{ mm} \\
 60 \text{ mm} &\leq h \leq 200 \text{ mm} \\
 300 \text{ mm} &\leq b_u \leq 600 \text{ mm} \\
 I_a/b_u &\leq 10 \text{ mm}^4/\text{mm} \\
 s_1 &\leq 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

6.3. Bemessungsverfahren

Der Abminderungsbeiwert β_b zur Berücksichtigung des Befestigungsabstands s_1 stimmt ungefähr mit dem Verhältnis der aufnehmbaren Druckkräfte überein.

Maximales Biegemoment:

$$M_{c,Rk,2} = M_{c,Rk,1} \cdot \frac{N_{Rk,2}}{N_{Rk,1}} = M_{c,Rk,1} \cdot \beta_b$$

Mit:

- $M_{c,Rk,1}$ maximales positives Biegemoment von Kassettenprofilen für einen Befestigungsabstand $s_{1,1}$ (bekannt)
- $M_{c,Rk,2}$ maximales positives Biegemoment von Kassettenprofilen für einen Befestigungsabstand $s_{1,2}$ (unbekannt)
- $N_{Rk,1}$ charakteristische Druckkraft der schmalen Gurte der Kassettenprofile, welche mit der Knicklänge $l = s_{1,1}$ berechnet wurde
- $N_{Rk,2}$ charakteristische Druckkraft der schmalen Gurte der Kassettenprofile, welche mit der Knicklänge $l = s_{1,2}$ berechnet wurde

Die Berechnung der charakteristischen Druckkraft der schmalen Gurte muss den folgenden Schritten folgen:

Schritt 1: Bruttoquerschnitt der Gurte

Der Bruttoquerschnitt des Druckgurtes besteht aus einem schmalen Gurt, einer Randsteife und 1/5 des Steges. Für die schmalen Gurte müssen separate Berechnungen für beide Stegseiten des Kassettenprofils durchgeführt werden, da der Querschnitt von beiden Gurten verschieden ist.

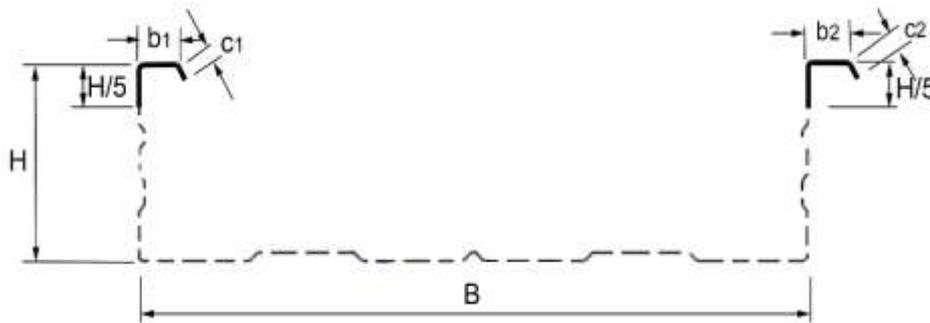


Abbildung 6.3.1 – Definition der Bruttoquerschnitte des Druckgurtes

Schritt 2: Wirksamer Querschnitt der Gurte

Der wirksame Querschnitt muss örtliches Beulen des schmalen Gurtes (b_{ef1} , b_{ef2}) und der Steife (c_{ef}) genauso wie das seitliche Ausweichen der Steife (t_{red}) berücksichtigen. Die Berechnung wird für eine gewählte Spannung σ_{com} für beide schmalen Gurte des Kassettenprofils durchgeführt.

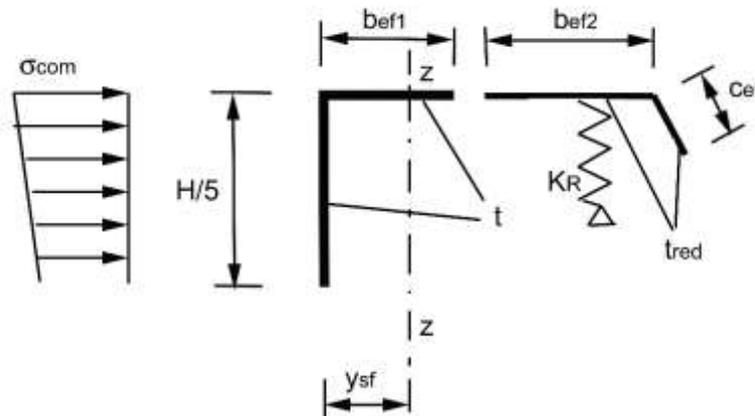


Abbildung 6.3.2 – Wirksamer Querschnitt des Druckgurtes für eine gewählte Spannung σ_{com}

Querschnittswerte

- y_{sf} Lage der neutralen Faser für seitliches Ausweichen
- A_{fz} wirksame Fläche des Druckgurtes
- J_{fz} wirksames Flächenträgheitsmoment für Biegung um die z-z-Achse

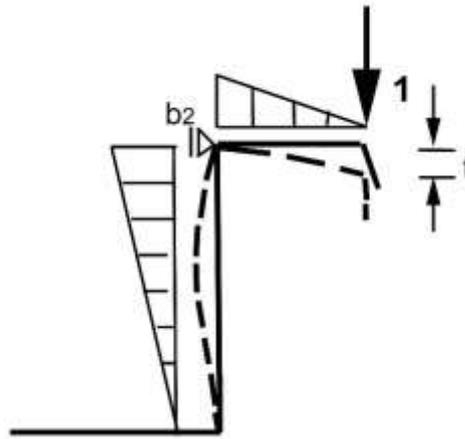


Abbildung 6.3.3 – Federsteifigkeit der Randsteife

Federsteifigkeit:

$$K_R = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{3}{b_2 \cdot (b_2^2 + b_2 \cdot h)}$$

Schritt 3: Maximale Druckkraft für den schmalen Gurt unter Berücksichtigung von seitlichem Ausweichen

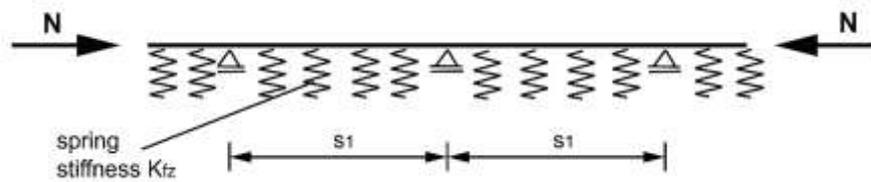


Abbildung 6.3.4 – Statisches System des schmalen Druckgurtes des Kassettenprofils

Bei der Berücksichtigung von seitlichem Ausweichen des Druckgurtes, kann die elastische Bettung des Druckgurtes in Längsrichtung angenommen werden:

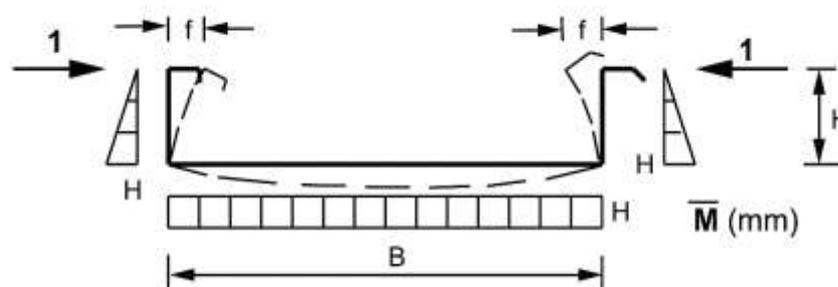


Abbildung 6.3.5 – Momentenverteilung zur Berechnung der Federsteifigkeit K_{fz}

Federsteifigkeit:

$$K_{fz} = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{6}{2 \cdot h^3 + 3 \cdot b \cdot h^2}$$

Bemessungsregeln für Kassettenprofile

Kritische Druckkraft:

$$N_{cr} = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{fz}}{s_1^2} + \frac{K_{fz} \cdot s_1^2}{n^2 \cdot \pi^2}$$

Im Normalfall entspricht die Normalkraft einem Minimum für $n = 1$ ($n =$ Anzahl der Halbwellen zwischen benachbarten Befestigungen). Die maximale Drucknormalkraft N_{Rk} wird gemäß EN 1993-1-1, Absatz 6.3.1.1 berechnet. Hierfür wird die Knicklinie a_0 verwendet.

Maximale Normalkraft:

$$N_{Rk} = \chi(a_0) \cdot A_{fz} \cdot f_{yb}$$

Maximale Druckspannung:

$$\sigma_k = \chi(a_0) \cdot f_{yb}$$

Wenn σ_k von der anfänglich gewählten Spannung σ_{com} abweicht, muss die Berechnung unter Verwendung von $\sigma_{com} = \sigma_k$ von Schritt 2 an wiederholt werden bis die Spannung σ_{com} , die den Grundwert für den wirksamen Querschnitt darstellt, und die Knickspannung des Druckgurtes σ_k sich angenähert haben.

Für beide Gurte des Kassettenprofils müssen analoge Berechnungen durchgeführt werden.

Schritt 4: Abminderungsbeiwert β_b

Die Berechnung gemäß Schritt 2 und 3 wird für beide Gurte und beide Befestigungsabstände $s_{1,1}$ und $s_{1,2}$ durchgeführt.

Der Abminderungsbeiwert für den Befestigungsabstand $s_{1,2}$:

$$\beta_b = \frac{\sum N_{Rk,1}}{\sum N_{Rk,2}}$$

7. BESONDERE BEMESSUNGSBETRACHTUNGEN

Sachverhalte, die in diesen Bemessungsregeln nicht behandelt werden:

- Feuerbemessung
- Seismische Bemessung
- Umweltaspekte
- Thermische Aspekte
- Akustische Aspekte
- Jeder andere Sachverhalt, der nicht eindeutig als höher oder niedriger definiert ist.

8. ERLÄUTERUNG DER SOFTWAREBERECHNUNG

8.1. Allgemeiner Ansatz

Die existierende Excel-Software unterstützt das neue Bemessungsverfahren. Alle Berechnungsschritte sind in die Software eingebunden. Die maximale Normalkraft der kleinen Gurte wird direkt unter Verwendung der Profildaten berechnet. Der neue Abminderungsbeiwert kann mit sehr geringem Aufwand ermittelt werden.

Der richtige Weg, um diese iterative Software zu nutzen, wird im Folgenden erläutert.

8.2. Ausgangsdaten

Zuerst benötigt die Excel-Software die Profildaten der Kassettenprofile. Alle roten Zellen müssen mit den Profilabmessungen ausgefüllt werden: Stahlkerndicke t_c , der niedrigere schmale Gurt b_{f1} , Randsteife c_1 , der höhere schmale Gurt b_{f2} , Randsteife c_2 , Befestigungsabstand s_1 , Höhe des Kassettenprofils H , Breite des Kassettenprofils B , Streckgrenze f_{yb} und Neigung der Randsteife a .

steel core thickness t_c	[mm]	fixing distance s_1	[mm]
small flange underneath b_{f1}	[mm]	Height of liner tray H	[mm]
Edge stiffener c_1	[mm]	Width of liner tray B	[mm]
small flange above b_{f2}	[mm]	yield strength f_{yb}	[N/mm ²]
Edge stiffener c_2	[mm]	Slope of edge stiffener a	[rad]

(against reference plane parallel to liner tray's bottom)

Abbildung 8.2.1 – Mit den Profilabmessungen auszufüllende Excel-Zellen

8.3. Erklärung der iterativen Berechnung

Nach dem Ausfüllen der Excel-Zellen mit den Profilabmessungen, berechnet die Excel-Software die Ergebnisse automatisch.

Zuerst werden die Querschnittswerte für den linken und rechten Gurt ermittelt.

Cross section values of the small flanges (effective cross section)

flange underneath				stiffener			
I_fz	A_fz	y_sf	z_sR	I_fz	A_fz	y_sf	z_sR
mm ⁴	mm ²	mm	mm	mm ⁴	mm ²	mm	mm

Abbildung 8.3.1 – Berechnung der Querschnittswerte

Als nächster Schritt wird das lokale Beulen der schmalen Gurte berechnet.

Local buckling of the small flanges

small flange underneath $b_{f1} =$										Edge stiffener $c_1 =$									
t_c	sigma_d	lam_p	rho	b_ef1	lam_p	rho	b_ef2	lam_p	rho	c_ef	A_R	I_R	c_R	sigm_kiR	lam_MR	chi_d	t_red		
mm	N/mm ²	-		mm	-		mm	-		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm		

small flange above $b_{f2} =$										Edge stiffener $c_2 =$									
t_c	sigma_d	lam_p	rho	b_ef1	lam_p	rho	b_ef2	lam_p	rho	c_ef	A_R	I_R	c_R	sigm_kiR	lam_MR	chi_d	t_red		
mm	N/mm ²	-		mm	-		mm	-		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm		

Abbildung 8.3.2 – Berechnung des lokalen Beulens der schmalen Gurte

Bemessungsregeln für Kassettenprofile

Jeder Gurt wird einzeln betrachtet, da sie nicht symmetrisch sind. Die roten Zellen müssen in einem iterativen Vorgehen ausgefüllt werden, welches später erläutert wird.

Im dritten Schritt erfolgt die Berechnung der aufnehmbaren Druckkraft für jeden Gurt.

small flange underneath													
	t_c mm	s_1 mm	n -	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	i_fz mm	c_fz N/mm ²	N_ki,z N	lam_k -	Phi -	Chi-a0 -	sigma_u N/mm ²	N_uD N
small flange above													
	t_k mm	s_1 mm	n -	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	i_fz mm	c_fz N/mm ²	N_ki,z N	lam_k -	Phi -	Chi-a0 -	sigma_u N/mm ²	N_uD N

Abbildung 8.3.3 – Berechnung der maximalen Normalkraft für jeden kleinen Gurt

Zur Bestimmung der richtigen Ergebnisse, muss die Spannung σ_u iterativ ermittelt werden. Für die Druckspannung wird σ_d (die roten Zellen in **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) durch den Nutzer im Iterationsverlauf eingegeben. Die Iteration wird so lange durchgeführt bis diese Werte mit σ_u (grüne Zellen in Abbildung 8.3.3) übereinstimmen.

8.4. ERGEBNISSE

Wenn die Iteration durchgeführt wurde, gibt die Excel-Software die aufnehmbare Druckkraft zusammengefasst für beide schmalen Gurte und eine durchschnittliche Druckspannung σ_u aus.

both small flanges together							
	t_k mm	s_1 mm	n -	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	N_uD N	sigma_u N/mm ²

Abbildung 8.4.1 – Berechnung der maximalen Normalkraft zusammengefasst

9. BEMESSUNGSBEISPIEL

9.1. Beschreibung des Gebäudes und des statischen Systems

9.1.1. Anordnung

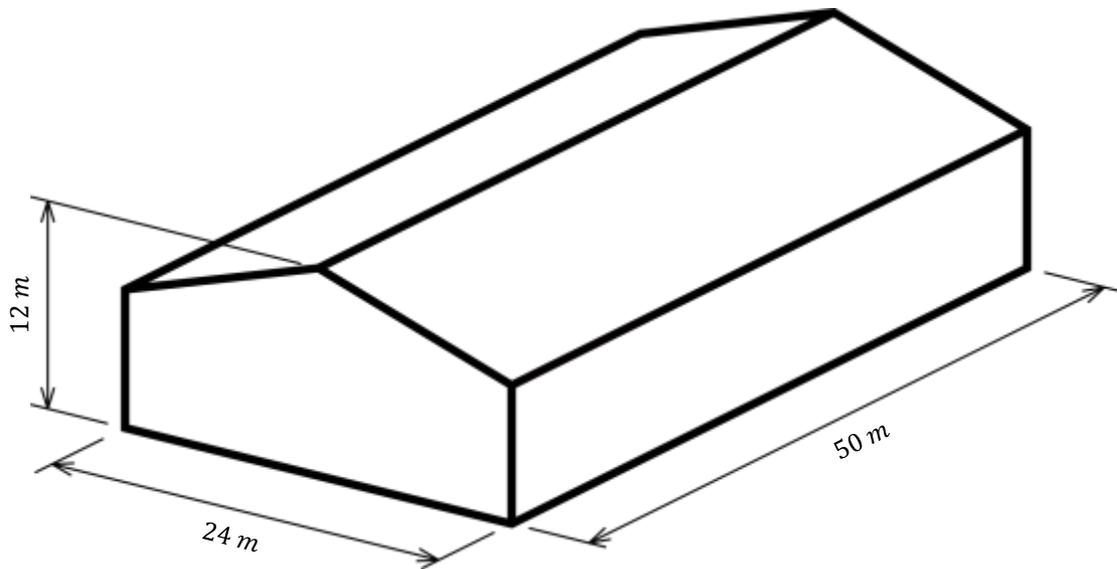


Abbildung 9.1.1 – Gebäudeabmessungen

Die Spannweite L der Kassettenprofile im Tragwerk:

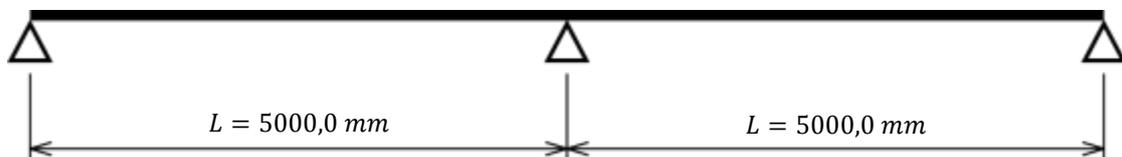


Abbildung 9.1.2 – Statisches System der Kassettenprofile

Als äußere Verkleidung wird ein Trapezblech mit der Befestigung über Distanzprofile angenommen. Als Distanzprofil wird ein Z-Profil verwendet.

Die Berechnung der äußeren Verkleidung und des Z-Profiles ist nicht Teil dieser Bemessungsregel.



Abbildung 9.1.3 – Kassettenprofilwand

Das Distanzprofil wird alle 1250 mm befestigt, was die Knicklänge $s_{1,2}$ des schmalen Druckgurtes vorgibt.

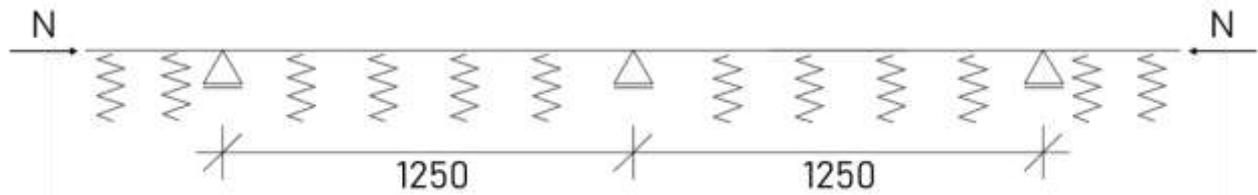


Abbildung 9.1.4 – Statisches System des Druckgurtes mit Knicklänge

9.1.2. Profilgeometrie

Das zu bemessende Profil ist das folgende:

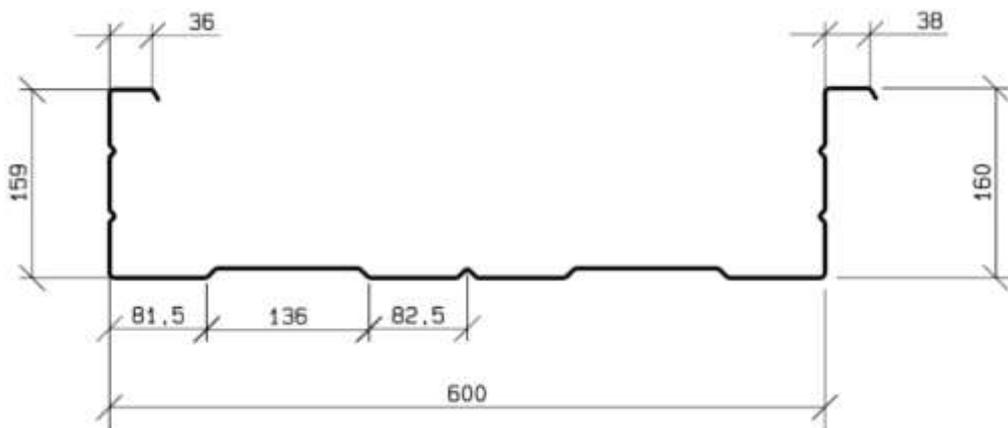


Abbildung 9.1.5 – Geometrie des zu bemessenden Profils

Profilparameter:

$$\begin{aligned} t_{nom} &= 0,75 \text{ mm} \\ b_{f1} &= 36,0 \text{ mm} \\ c_1 &= 10,0 \text{ mm} \\ b_{f2} &= 38,0 \text{ mm} \\ c_2 &= 10,0 \text{ mm} \\ h &= 160,0 \text{ mm} \\ b &= 600,0 \text{ mm} \\ M_{c,Rk,1} &= 5,57 \text{ kNm/m (Feld)} \end{aligned}$$

9.1.3. Materialeigenschaften

Allgemein:

$$\begin{aligned} E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\ \nu &= 0,3 \end{aligned}$$

Verwendeter Stahl:

$$\begin{aligned} \text{Stahlsorte: } &S320 \\ f_{yb} &= 320 \text{ N/mm}^2 \\ t_{nom} &= 0,75 \text{ mm} \\ t_{cor} &= 0,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

9.2. Berechnung der Profiltragfähigkeit

9.2.1. Überprüfung der Profilgeometrie

$$\begin{aligned} 0,75 \text{ mm} &\leq t_{nom} = 0,75 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm} \\ 30 \text{ mm} &\leq b_f = 37,0 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} &< h = 160,0 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} &\leq b_u = 600,0 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \\ I_a/b_u &= 0,522 \text{ mm}^4/\text{mm} \leq 10 \text{ mm}^4/\text{mm} \\ s_1 &= 1250 \text{ mm} \leq 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die Profilgeometrie liegt innerhalb der Anwendungsgrenzen des Bemessungsverfahrens.

9.2.2. Momententragfähigkeit – Druckbeanspruchung im breiten Gurt

Der Nachweis bei einem breiten Gurt unter Druck ist nicht Teil des neuen Bemessungsverfahrens und muss nach EN 1991-1-3, Abschnitt 10.2.2.1 „Druckbeanspruchung im breiten Gurt“ überprüft werden.

9.2.3. Momententragfähigkeit – Zugbeanspruchung im breiten Gurt

Zur Berechnung der Momententragfähigkeit unter andrückender Last nach dem neuen Bemessungsverfahren, wird die aufnehmbare Druckkraft für die bekannte Länge und anschließend für die unbekannte Länge bestimmt. Aufgrund dessen kann der Abminderungsbeiwert berechnet werden.

$$\beta_b = \frac{\sum N_{Rk,1}}{\sum N_{Rk,2}}$$

Wegen der verschiedenen Gurte werden beide einzeln berechnet und dann addiert.

Aufnehmbare Druckkraft des bekannten Befestigungsabstands $s_{1,1}$

Der bekannte Befestigungsabstand $s_{1,1}$ beträgt 732 mm, was einem Verbindungselement in jedem dritten Gurt des Trapezblechs entspricht. Das entsprechende maximale Biegemoment im Feld muss gemäß EN 1993-1-3 berechnet oder den Herstellerangaben entnommen werden.

Am Anfang müssen die roten Zellen mit den Ausgangsdaten ausgefüllt werden.

steel core thickness t_c	0.71	[mm]	fixing distance $s_{1,1}$	732	[mm]
small flange underneath b_{f1}	36	[mm]	Height of liner tray H	160	[mm]
Edge stiffener c_1	10	[mm]	Width of liner tray B	600	[mm]
small flange above b_{f2}	38	[mm]	yield strength f_{yb}	320	[N/mm ²]
Edge stiffener c_2	10	[mm]	Slope of edge stiffener α	1.047	[rad]

(against reference plane parallel to liner tray's bottom)

Abbildung 9.2.1 – Die Profilabmessungen und der bekannte Abstand $s_{1,1}$

Als erster Schritt erfolgt die Berechnung der Bruttoquerschnitte der Druckgurte einzeln für beide Gurte. Der Gurt und die Randsteife werden voll angesetzt. Im Gegensatz dazu wird nur ein Fünftel des Stegs berücksichtigt (siehe Abbildung 6.3.1).

niedriger Gurt:

$$b_{f1} = 36,0 \text{ mm}$$

$$c_1 = 10,0 \text{ mm}$$

$$h_1 = 1/5 * 159 = 31,8 \text{ mm}$$

hoher Gurt:

$$b_{f2} = 38,0 \text{ mm}$$

$$c_2 = 10,0 \text{ mm}$$

$$h_2 = 1/5 * 160 = 32 \text{ mm}$$

Cross section values of the small flanges (effective cross section)

flange underneath				stiffener	flange above				stiffener
I_fz	A_fz	y_sf	z_sR		I_fz	A_fz	y_sf	z_sR	
mm ⁴	mm ²	mm	mm		mm ⁴	mm ²	mm	mm	
6855	42.03	8.47	1.320		7434	41.88	8.70	1.278	

Abbildung 9.2.2 – Der berechnete Querschnitt des bekannten Befestigungsabstands $s_{1,1}$

Als zweiter Schritt muss der wirksame Querschnitt lokales Beulen des Gurtes und der Steife sowie Forminstabilität der Steife berücksichtigen (siehe Abbildung 6.3.2). Der Vorgang ist derselbe wie in EN 1993-1-3, welche lokales Beulen und Forminstabilität des Querschnitts in Abschnitt 5.5.3.2 „Ebene Teilflächen mit Randsteifen“ berücksichtigt.

Die Federsteifigkeit der Randsteife muss wie in Abbildung 9.2.3 gezeigt berechnet werden. Die entsprechenden Ergebnisse der Excel-Software sind in Abbildung 9.2.4 angegeben.

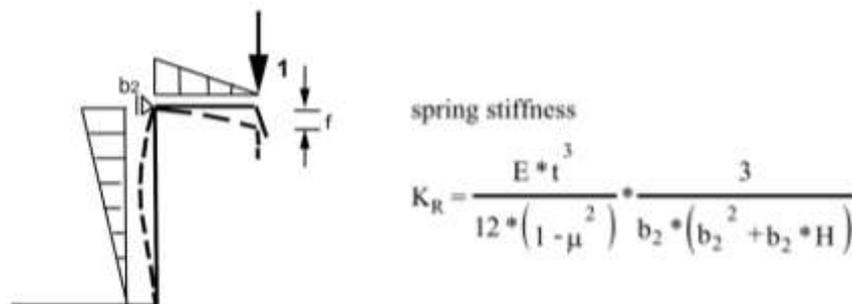


Abbildung 9.2.3 – Die Federsteifigkeit der Randsteife K_R

Bemessungsregeln für Kassettenprofile

niedriger Gurt:

Mit

$$b_2 = b_{f1} = 36 \text{ mm}$$

$$h = h_w = 160 \text{ mm}$$

$$K_{R,1} = \frac{210000 \cdot 0,71^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{3}{b_2 \cdot (b_2^2 + b_2 \cdot h)} = 0,0813 \text{ N/mm}^2$$

hoher Gurt:

Mit

$$b_2 = b_{f2} = 38 \text{ mm}$$

$$h = h_w = 160 \text{ mm}$$

$$K_{R,2} = \frac{210000 \cdot 0,71^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{3}{b_2 \cdot (b_2^2 + b_2 \cdot h)} = 0,0722 \text{ N/mm}^2$$

In diesem Fall wird die Breite des schmalen Gurtes für den Parameter b_2 verwendet.

Zur Berechnung des Abminderungsbeiwertes ρ werden [8] und [9] benötigt.

Bei Verwendung der Excel-Software muss die Spannung zunächst als der Grundwert der Fließspannung angenommen und iterativ verbessert werden.

Local buckling of the small flanges																		
small flange underneath $b_{f1} =$				36	mm				Edge stiffener $c_1 =$			10	mm					
t_c	sigma_d	lam_p	rho	b_ef1	lam_p	rho	b_ef2	lam_p	rho	c_ef	A_R	I_R	c_R	sigm_kiR	lam_MR	chi_d	t_red	
mm	N/mm ²	-								mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm	
0.71	285.4	0.9832	0.7895	14.21	0.6826	0.9928	17.87	0.7725	0.9062	9.06	19.12	98.7	0.0813	135.8	1.5352	0.4299	0.342	

small flange above $b_{f2} =$				38	mm				Edge stiffener $c_2 =$			10	mm					
t_c	sigma_d	lam_p	rho	b_ef1	lam_p	rho	b_ef2	lam_p	rho	c_ef	A_R	I_R	c_R	sigm_kiR	lam_MR	chi_d	t_red	
mm	N/mm ²	-								mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm	
0.71	288.07	1.0427	0.7567	14.38	0.7055	0.9754	18.53	0.7761	0.9020	9.02	19.56	98.2	0.0722	124.8	1.6013	0.4122	0.325	

Abbildung 9.2.4 – Berücksichtigung der wirksamen Werte von lokalem Beulen und Forminstabilität des bekannten Abstands $s_{1,1}$

In Schritt drei erfolgt die Berechnung der aufnehmbaren Druckkraft des schmalen Gurtes unter Berücksichtigung von seitlichem Ausweichen (siehe Abbildung 6.3.4).

Aus diesem Grund muss die Federsteifigkeit K_{fz} nur einmal berechnet werden, da sie unabhängig von den Gurten ist (siehe Abbildung 6.3.5).

$$K_{fz} = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{6}{2 \cdot h^3 + 3 \cdot b \cdot h^2}$$

Mit

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = h_w = 160 \text{ mm}$$

$$K_{fz} = \frac{210000 \cdot 0,71^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{6}{2 \cdot h^3 + 3 \cdot b \cdot h^2} = 0,00076 \text{ N/mm}^2$$

An dieser Stelle wird die Breite b_u des breiten Gurtes als Breite b verwendet.

Nach Bestimmung der Federsteifigkeit kann die kritische Knicklast noch einmal einzeln für beide Gurte berechnet werden.

$$N_{cr} = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{fz}}{s_1^2} + \frac{K_{fz} \cdot s_1^2}{n^2 \cdot \pi^2}$$

niedriger Gurt:

$$N_{cr,1,1} = \frac{1^2 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 6855}{732^2} + \frac{0,00076 \cdot 732^2}{1^2 \cdot \pi^2} = 26556 \text{ N}$$

hoher Gurt:

$$N_{cr,1,2} = \frac{1^2 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 7434}{732^2} + \frac{0,00076 \cdot 732^2}{1^2 \cdot \pi^2} = 28796 \text{ N}$$

Der Abminderungsbeiwert χ wird mit der entsprechenden kritischen Knicklast und einer Knicklinie berechnet, sodass die aufnehmbare Druckkraft bestimmt werden kann. Hierfür kann die Knicklinie a_0 aus [10] und [11] verwendet werden.

niedriger Gurt:

$$N_{Rk,1,1} = \chi(a_0) \cdot A_{fz} \cdot f_{yb} = 11994 \text{ N}$$

hoher Gurt:

$$N_{Rk,1,2} = \chi(a_0) \cdot A_{fz} \cdot f_{yb} = 12096 \text{ N}$$

Aufgrund dieses iterativen Vorgehens muss die Berechnung wiederholt werden bis die zuvor ange-setzte Druckspannung und die sich ergebende Spannung des Druckgurtes übereinstimmen.

small flange underneath

	t_c mm	s_1 mm	n	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	i_fz mm	c_fz N/mm ²	N_ki,z N	lam_k	Phi	Chi-a0	sigma_u N/mm ²	N_uD N
	0.71	732	1	6855	42.03	12.77	0.00076	26556	0.7116	0.7865	0.8918	285.4	11994

small flange above

	t_k mm	s_1 mm	n	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	i_fz mm	c_fz N/mm ²	N_ki,z N	lam_k	Phi	Chi-a0	sigma_u N/mm ²	N_uD N
	0.71	732	1	7434	41.88	13.32	0.00076	28796	0.6822	0.7641	0.9024	288.8	12096

Abbildung 9.2.5 – Die berechnete maximale Drucknormalkraft des bekannten Abstands $s_{1,1}$

Bei Verwendung der Excel-Software müssen die roten Zellen in Abbildung 9.2.4 iterativ ausgefüllt werden bis sie mit den grünen Zellen in Abbildung 9.2.5 übereinstimmen.

Die aufnehmbare Druckkraft für den bekannten Befestigungsabstand beträgt, als Summe des rechten und linken Gurtes:

$$\Sigma N_{Rk,1} = 11994 + 12096 = 24089 \text{ N}$$

both small flanges together

	t_k mm	s_1 mm	n	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	N_uD N	sigma_u N/mm ²
	0.71	732	1	14289	83.91	24089	287.1

Abbildung 9.2.6 – Die berechnete aufnehmbare Druckkraft des schmalen Gurtes bei einem be-kannten Abstands $s_{1,1}$

Bevor der neue Abminderungsbeiwert β_b berechnet werden kann, muss die Berechnung von Schritt 1 bis 3 für den unbekanntem Befestigungsabstand $s_{1,2}$ wiederholt werden.

Aufnehmbare Druckkraft des unbekanntem Befestigungsabstands $s_{1,2}$

Die Berechnung des unbekanntem Befestigungsabstands $s_{1,2}$ erfolgt analog, sodass an dieser Stelle nur die Ergebnisse der Excel-Software angezeigt werden.

Alle Parameter bleiben unverändert, ausgenommen des Befestigungsabstands, welcher sich zu 1250 mm ändert.

steel core thickness t_c	0.71	[mm]	fixing distance s_1	1250	[mm]
small flange underneath b_{f1}	36	[mm]	Height of liner tray H	160	[mm]
Edge stiffener c_1	10	[mm]	Width of liner tray B	600	[mm]
small flange above b_{f2}	38	[mm]	yield strength f_{yb}	320	[N/mm ²]
Edge stiffener c_2	10	[mm]	Slope of edge stiffener α	1.047	[rad]

(against reference plane parallel to liner tray's bottom)

Abbildung 9.2.7 – Die Profilabmessungen und der bekannte Abstand $s_{1,2}$

SCHRITT 1:

Cross section values of the small flanges (effective cross section)

flange underneath				stiffener	flange above				stiffener
I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}		I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}	
mm ⁴	mm ²	mm	mm		mm ⁴	mm ²	mm	mm	
9399	47.73	10.89	1.568		9972	46.90	10.99	1.533	

Abbildung 9.2.8 – Der berechnete Querschnitt des bekannten Abstands $s_{1,2}$

SCHRITT 2:

Local buckling of the small flanges

small flange underneath $b_{f1} =$				36	mm				Edge stiffener $c_1 =$				10	mm			
t_c	σ_d	λ_{mp}	ρ	b_{ef1}	λ_{mp}	ρ	b_{ef2}	λ_{mp}	ρ	c_{ef}	A_R	I_R	c_R	σ_{kiR}	λ_{MR}	χ_d	t_{red}
mm	N/mm ²	-		mm	mm		mm	mm		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm
0.71	207.06	0.8375	0.8804	15.85	0.7016	0.9783	17.61	0.6580	1.0639	10.00	19.60	129.3	0.0813	151.5	1.4531	0.4542	0.498

small flange above $b_{f2} =$				38	mm				Edge stiffener $c_2 =$				10	mm			
t_c	σ_d	λ_{mp}	ρ	b_{ef1}	λ_{mp}	ρ	b_{ef2}	λ_{mp}	ρ	c_{ef}	A_R	I_R	c_R	σ_{kiR}	λ_{MR}	χ_d	t_{red}
mm	N/mm ²	-		mm	mm		mm	mm		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm
0.71	217.3	0.9056	0.8360	15.88	0.7264	0.9597	18.23	0.6741	1.0385	10.00	20.05	130.3	0.0722	140.3	1.5104	0.4370	0.457

Abbildung 9.2.9 – Berücksichtigung der wirksamen Werte des lokalen Beulens und der Forminstabilität des bekannten Abstandes $s_{1,2}$

SCHRITT 3:

small flange underneath

t_c	s_1	n	I_{fz}	A_{fz}	i_{fz}	c_{fz}	$N_{ki,z}$	λ_{mk}	Phi	Chi-a0	σ_u	N_{uD}
mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	mm	N/mm ²	N	-	-	-	N/mm ²	N
0.71	1250	1	9399	47.73	14.03	0.00076	12588	1.1016	1.1653	0.6470	207.1	9883

small flange above

t_k	s_1	n	I_{fz}	A_{fz}	i_{fz}	c_{fz}	$N_{ki,z}$	λ_{mk}	Phi	Chi-a0	σ_u	N_{uD}
mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	mm	N/mm ²	N	-	-	-	N/mm ²	N
0.71	1250	1	9972	46.90	14.58	0.00076	13348	1.0603	1.1180	0.6790	217.3	10190

Abbildung 9.2.10 – Die berechnete maximale Drucknormalkraft des bekannten Abstands $s_{1,2}$

both small flanges together

t_k	s_1	n	I_{fz}	A_{fz}	N_{uD}	σ_u
mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	N	N/mm ²
0.71	1250	1	19371	94.63	20073	212.1

Abbildung 9.2.11 – Die berechnete aufnehmbare Druckkraft des bekannten Abstands $s_{1,2}$

Die maximale Gesamtdruckkraft für den unbekanntem Abstand beträgt als Summe des rechten und linken Gurts:

$$\sum N_{Rk,2} = 9883 + 10190 = 20073 \text{ N}$$

Wenn beide aufnehmbaren Druckkräfte berechnet wurden, kann der neue Abminderungsbeiwert ermittelt werden.

Berechnung der Momententragfähigkeit mit dem neuen Abminderungsbeiwert

Der Abminderungsbeiwert ergibt sich aus dem Quotienten der aufnehmbaren Druckkräfte.

$$\beta_b = \frac{\sum N_{Rk,2}}{\sum N_{Rk,1}} = 0,833$$

Schließlich kann die Momententragfähigkeit mit der bekannten Momententragfähigkeit berechnet werden, die durch den Hersteller zu 5,57 kNm/m angegeben wurde.

$$M_{c,Rk,2} = M_{c,Rk,1} \cdot \beta_b = 4,64 \text{ kNm/m}$$

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1.1 – Erläuterung des Verbindungsmittelabstandes s_1	12
Abbildung 1.1.2 – Anwendungsgrenzen von Kassettenprofilen.....	12
Abbildung 1.2.1 – Kassettenprofilwände.....	13
Abbildung 1.3.1 – Versuchsaufbau der Einfeldträger- und Zwischenauflagerversuche.....	14
Abbildung 1.3.2 – Versuchsaufbau für Zweifeldträgerversuche	14
Abbildung 1.3.3 – Versagen durch seitliches Knicken des Druckgurtes	15
Abbildung 1.3.4 – Versagen durch seitliches Ausweichen der schmalen Gurte	15
Abbildung 2.2.1 – Geometrische Anwendungsgrenzen.....	17
Abbildung 6.3.1 – Definition der Bruttoquerschnitte des Druckgurtes	20
Abbildung 6.3.2 – Wirksamer Querschnitt des Druckgurtes für eine gewählte Spannung σ_{com}	20
Abbildung 6.3.3 – Federsteifigkeit der Randsteife	21
Abbildung 6.3.4 – Statisches System des schmalen Druckgurtes des Kassettenprofils	21
Abbildung 6.3.5 – Momentenverteilung zur Berechnung der Federsteifigkeit K_{fz}	21
Abbildung 8.2.1 –Mit den Profilabmessungen auszufüllende Excel-Zellen	24
Abbildung 8.3.1 – Berechnung des lokalen Beulens der schmalen Gurte	24
Abbildung 8.3.2 – Berechnung des lokalen Beulens der schmalen Gurte	24
Abbildung 8.3.3 – Berechnung der maximalen Normalkraft für jeden kleinen Gurt.....	25
Abbildung 8.4.1 – Berechnung der maximalen Normalkraft zusammengefasst.....	25
Abbildung 9.1.1 – Gebäudeabmessungen	26
Abbildung 9.1.2 – Statisches System der Kassettenprofile	26
Abbildung 9.1.3 – Kassettenprofilwand.....	27
Abbildung 9.1.4 – Statisches System des Druckgurtes mit Knicklänge.....	27
Abbildung 9.1.5 – Geometrie des zu bemessenden Profils.....	27
Abbildung 9.2.1 – Die Profilabmessungen und der bekannte Abstand $s_{1,1}$	29
Abbildung 9.2.2 – Der berechnete Querschnitt des bekannten Befestigungsabstands $s_{1,1}$	29
Abbildung 9.2.3 – Die Federsteifigkeit der Randsteife K_R	29
Abbildung 9.2.4 – Berücksichtigung der wirksamen Werte von lokalem Beulen und Forminstabilität des bekannten Abstands $s_{1,1}$	30
Abbildung 9.2.5 – Die berechnete maximale Drucknormalkraft des bekannten Abstands $s_{1,1}$	31
Abbildung 9.2.6 – Die berechnete aufnehmbare Druckkraft des schmalen Gurtes bei einem bekannten Abstand $s_{1,1}$	31
Abbildung 9.2.7 – Die Profilabmessungen und der bekannte Abstand $s_{1,2}$	32
Abbildung 9.2.8 – Der berechnete Querschnitt des bekannten Abstands $s_{1,2}$	32

Bemessungsregeln für Kassettenprofile

Abbildung 9.2.9 – Berücksichtigung der wirksamen Werte des lokalen Beulens und der Forminstabilität des bekannten Abstandes $s_{1,2}$	32
Abbildung 9.2.10 – Die berechnete maximale Drucknormalkraft des bekannten Abstandes $s_{1,2}$	32
Abbildung 9.2.11 – Die berechnete aufnehmbare Druckkraft des bekannten Abstandes $s_{1,2}$	32

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] CEN, EN 1991-1-1:2002 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2010.
- [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] CEN, EN 1090-1: 2012 - Execution of steel structures and aluminium structures - Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components, Brussels, 2012.
- [4] CEN, EN 14782: 2015 - Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements, Brussels, 2015.
- [5] CEN, EN 1990 Eurocode 0: Basis of structural design, Brussels, 2010.
- [6] CEN, EN 1991-1-3: 2005 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads, Brussels, 2005.
- [7] CEN, EN 1991-1-6:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-6: General actions, Actions during execution, Brussels, 2010
- [8] CEN, EN 1993-1-5:2006 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements, Brussels, 2006.
- [9] CEN, EN 1993-1-5:2006/A1:2017 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements – 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.

ANHANG

D2.1	GRISPE WP2 Hintergrund Dokument	Christian FAUTH (KIT)
D2.2	GRISPE WP2 Versuchsreihen Definition	Rainer HOLZ (IFL)
D2.3	GRISPE Versuchsprotokoll	Christian FAUTH (KIT)
D2.4	GRISPE WP2 Versuchsanalyse und -interpretation	Rainer HOLZ (IFL)
D2.5	GRISPE WP2 Hintergrund und Entwurfsanhang für EN 1993-1-3 für Kassettenprofile	Christian FAUTH (KIT)