

Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam
getragene Anstalt des öffentlichen Rechts

Europäische Technische
Bewertungsstelle für Bauprodukte



Europäische Technische Bewertung

ETA-18/1014
vom 15. Dezember 2025

Allgemeiner Teil

Technische Bewertungsstelle, die
die Europäische Technische Bewertung
ausstellt

Deutsches Institut für Bautechnik

Handelsname des Bauprodukts

Kielsteg

Produktfamilie,
zu der das Bauprodukt gehört

Vorgefertigte tragende Tafeln aus Holz und
Holzwerkstoffen

Hersteller

Kulmer Holz- Leimbau GesmbH
Hart 65
8212 PISCHELSDORF
ÖSTERREICH

Herstellungsbetrieb

Kulmer Holz- Leimbau GesmbH
Hart 65
8212 PISCHELSDORF
ÖSTERREICH

Diese Europäische Technische Bewertung
enthält

33 Seiten, davon 6 Anhänge, die fester Bestandteil dieser
Bewertung sind.

Diese Europäische Technische Bewertung
wird ausgestellt gemäß der Verordnung (EU)
Nr. 305/2011, auf der Grundlage von

EAD 140022-00-0304

Diese Fassung ersetzt

ETA-18/1014 vom 14. Mai 2019

Die Europäische Technische Bewertung wird von der Technischen Bewertungsstelle in ihrer Amtssprache ausgestellt. Übersetzungen dieser Europäischen Technischen Bewertung in andere Sprachen müssen dem Original vollständig entsprechen und müssen als solche gekennzeichnet sein.

Diese Europäische Technische Bewertung darf, auch bei elektronischer Übermittlung, nur vollständig und ungekürzt wiedergegeben werden. Nur mit schriftlicher Zustimmung der ausstellenden Technischen Bewertungsstelle kann eine teilweise Wiedergabe erfolgen. Jede teilweise Wiedergabe ist als solche zu kennzeichnen.

Die ausstellende Technische Bewertungsstelle kann diese Europäische Technische Bewertung widerrufen, insbesondere nach Unterrichtung durch die Kommission gemäß Artikel 25 Absatz 3 der Verordnung (EU) Nr. 305/2011.

Besonderer Teil

1 Technische Beschreibung des Produkts

"Kielsteg"-Elemente sind industriell gefertigte ebene Flächenelemente, bestehend aus

- Stegen, die in Elementlängsrichtung verlaufen und in der Querschnittsebene wie ein Bootskiel geformt sind (siehe Bild 1). Die Stege bestehen aus Sperrholz- oder OSB-Platten nach DIN EN 13986¹ und können Stumpfstöße quer zur Elementlängsrichtung aufweisen.
- Gurten, bestehend aus einem der folgenden Materialien, jeweils flachkant parallel angeordnet:
 - Kanthölzer aus Nadelholz nach EN 14081-1² oder nach EN 15497³. Die Hölzer können visuell oder maschinell sortiert sein.
 - Homogen aufgebautes Brettschichtholz nach EN 14080⁴.
 - Balkenschichtholz nach EN 14080.

Jedes Gurtholz ist an seinen Schmalseiten mit einem Stegelement verklebt, die Stegplatten sind ebenfalls im Bereich des Gurtes miteinander verklebt. Der Faserverlauf der Decklagen der Sperrholzstege bzw. der Spanverlauf der Decklagen der OSB-Plattenstege verläuft stets parallel zur Bauteillängsachse.

Der gegenseitige Versatz der Stumpfstöße zweier in Elementbreitenrichtung benachbarter Stege innerhalb eines Elements beträgt mindestens 80 cm.



Bild 1 "Kielsteg"-Element, 3-D Ansicht

Die Elemente entsprechen folgendem Typ nach EAD 140022-00-0304⁵, Abschnitt 1.1:

- Beidseitig beplankte Konstruktion, Typ geschlossene Box
- Ohne oder mit Wärmedämmstoff. Der Dämmstoff trägt nicht zu den Leistungsmerkmalen der Tragfähigkeit bei

Kielstegelemente können Endquerschnittsverstärkungen aus Holzwerkstoffplatten als Stirnplatte zur Erhöhung der Auflagertragfähigkeit aufweisen.

Die Hölzer der Gurte sowie die Holzwerkstoffplatten der Stege oder Stirnplatten sind im Auslieferungszustand nicht mit Holzschutzmitteln behandelt.

1	EN 13986:2004+A1:2015	Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung
2	EN 14081-1:2016	Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt –Teil 1: Allgemeine Anforderungen
3	EN 15497:2014	Keilgezinktes Vollholz für tragende Zwecke – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung
4	EN 14080:2013	Holzbauwerke –Brettschichtholz und Balkenschichtholz –Anforderungen
5	EAD 140022-00-0304:2018	Vorgefertigte tragende Tafeln aus Holz und Holzwerkstoffen

In Anhang 1 ist das Produkt mit seinen Abmessungen und den einzelnen Komponenten dargestellt.

2 Spezifizierung des Verwendungszwecks gemäß dem anwendbaren Europäischen Bewertungsdokument

Kielstegelemente sind dazu vorgesehen, als lasttragende Dach- und Deckenelemente in Bauwerken des Hochbaus eingesetzt zu werden. Dabei können Sie sowohl rechtwinklig zur Bauteilebene wirkende Lasten als auch in Bauteilebene wirkende Lasten aufnehmen.

Von den Leistungen in Abschnitt 3 kann nur ausgegangen werden, wenn die Produkte entsprechend den Angaben und unter den Randbedingungen gemäß Anhang 2 verwendet werden.

Die Prüf- und Bewertungsmethoden, die dieser ETA zu Grunde liegen, führen zur Annahme einer Nutzungsdauer der Produkte von mindestens 50 Jahren. Die Angaben zur Nutzungsdauer können nicht als Garantie des Herstellers ausgelegt werden, sondern sind lediglich ein Hilfsmittel zur Auswahl der richtigen Produkte im Hinblick auf die erwartete wirtschaftlich angemessene Nutzungsdauer des Bauwerks.

3 Leistung des Produkts und Angabe der Methoden ihrer Bewertung

3.1 Mechanische Festigkeit und Standsicherheit (BWR 1)

Wesentliches Merkmal	Bewertungsverfahren	Leistung
Biegefestigkeit oder Biegetragfähigkeit (Flachkantbeanspruchung)	siehe Anhang 3	
Druckfestigkeit oder Drucktragfähigkeit parallel zur Oberfläche	siehe Anhang 3	
Druckfestigkeit oder Drucktragfähigkeit senkrecht zur Oberfläche (Auflagerreaktion)	siehe Anhang 3	
Schubfestigkeit oder Schubtragfähigkeit (Flachkantbeanspruchung)	siehe Anhang 3	
Wandscheiben-Tragfähigkeit	Keine Leistung festgestellt (NPD)	
Widerstand gegen Einzellasten	Keine Leistung festgestellt (NPD)	
Rohdichte	siehe Anhang 3	
Kriechen und Lasteinwirkungsdauer	siehe Anhang 3	
Dimensionsstabilität	siehe Anhang 3	

3.2 Brandschutz (BWR 2)

Wesentliches Merkmal	Bewertungsverfahren	Leistung
Brandverhalten	EN 13501-1	Klasse E
Feuerwiderstand	Keine Leistung festgestellt.	

3.3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz (BWR 3)

Wesentliches Merkmal	Bewertungsverfahren	Leistung
Inhalt, Emission und/oder Freisetzung gefährlicher Substanzen	siehe Anhang 3	
Wasserdampfdurchlässigkeit und Widerstand gegen Feuchte	siehe Anhang 3	

3.4 Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung (BWR 4)

Wesentliches Merkmal	Bewertungsverfahren	Leistung
Stoßfestigkeit	EAD 140022-00-0304, Abschnitt 2.2.15	Ausreichend

3.5 Schallschutz (BWR 5)

Wesentliches Merkmal	Bewertungsverfahren	Leistung
Luftschalldämmung	Keine Leistung festgestellt (NPD)	
Körperschalldämmung	Keine Leistung festgestellt (NPD)	
Schallabsorption	Keine Leistung festgestellt (NPD)	

3.6 Energieeinsparung und Wärmeschutz (BWR 6)

Wesentliches Merkmal	Bewertungsverfahren	Leistung
Wärmeleitfähigkeit	siehe Anhang 3	
Luftdurchlässigkeit	Keine Leistung festgestellt (NPD)	
Thermische Trägheit	siehe Anhang 3	

4 Angewandtes System zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit mit der Angabe der Rechtsgrundlage

Gemäß dem EAD 140022-00-0304 gilt folgende Rechtsgrundlage: Entscheidung der Kommission 2000/447/EC⁶.

Das anzuwendende System ist: 1.

5 Für die Durchführung des Systems zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit erforderliche technische Einzelheiten gemäß anwendbarem Europäischen Bewertungsdokument

Technische Einzelheiten, die für die Durchführung des Systems zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit notwendig sind, sind Bestandteil des Kontrollplans, der beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt ist.

Ausgestellt in Berlin am 15. Dezember 2025 vom Deutschen Institut für Bautechnik

Anja Dewitt
Referatsleiterin

Beglaubigt
Warns

⁶ Official Journal of the European Communities No L 180, 19.07.2000

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 1 Seite 1

Aufbau und Abmessungen

Kielsteg-Element: Querschnitt

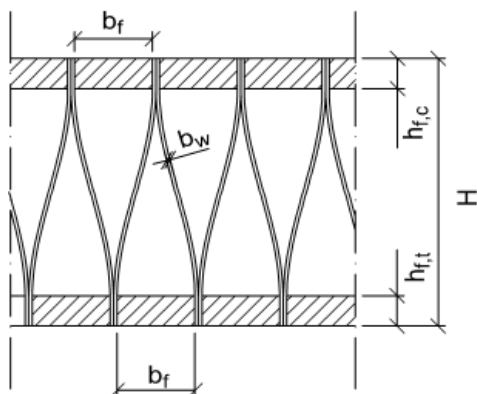


Bild1.1: "Kielsteg"-Element, Querschnitt

Kielstegelemente sind Flächenelemente mit einer Mindestnennbreite von 0,39 m und einer maximalen Nennbreite von 1,2 m. Im Zug- und Druckbereich sind jeweils mindestens fünf Gurthölzer angeordnet. Die Gurthölzer können achsparallel angeordnete Entlastungsnuten aufweisen.

Die Bauteilhöhen H von Kielstegelementen betragen bei Stegen aus Sperrholz minimal 228 mm und maximal 380 mm. Bei Stegen aus OSB-Platten betragen die Bauteilhöhen minimal 485 mm und maximal 800 mm.

Die Bauteillängen betragen minimal 2 m und maximal 35 m.

Des Weiteren entsprechen die Abmessungen der Gurthölzer abhängig von der Bauteilhöhe und vom verwendeten Stegplattenmaterial den in Tabelle 1 aufgeführten Bereichen.

Tabelle 1.1: Abmessungen der Gurthölzer der Kielstegelemente in Abhängigkeit vom Steg-Holzwerkstoff und von der Bauteilhöhe der Kielstegelemente

Steg-Holzwerkstoff (Nennstärke in mm)	Bauteilhöhe H mm	Abmessungen der Gurthölzer	
		Breite b_f mm	Höhe $h_{f,t,c}$ mm
Sperrholz ($b_w = 4,3$ mm bis 5 mm)	228-300	70 – 120	30 – 70
	301-380	70 – 130	30 – 70
OSB/3 ($b_w = 8$ mm, 10 mm oder 12 mm)	485-640	70 – 155	40 – 80
	641-800	70 – 175	50 – 90

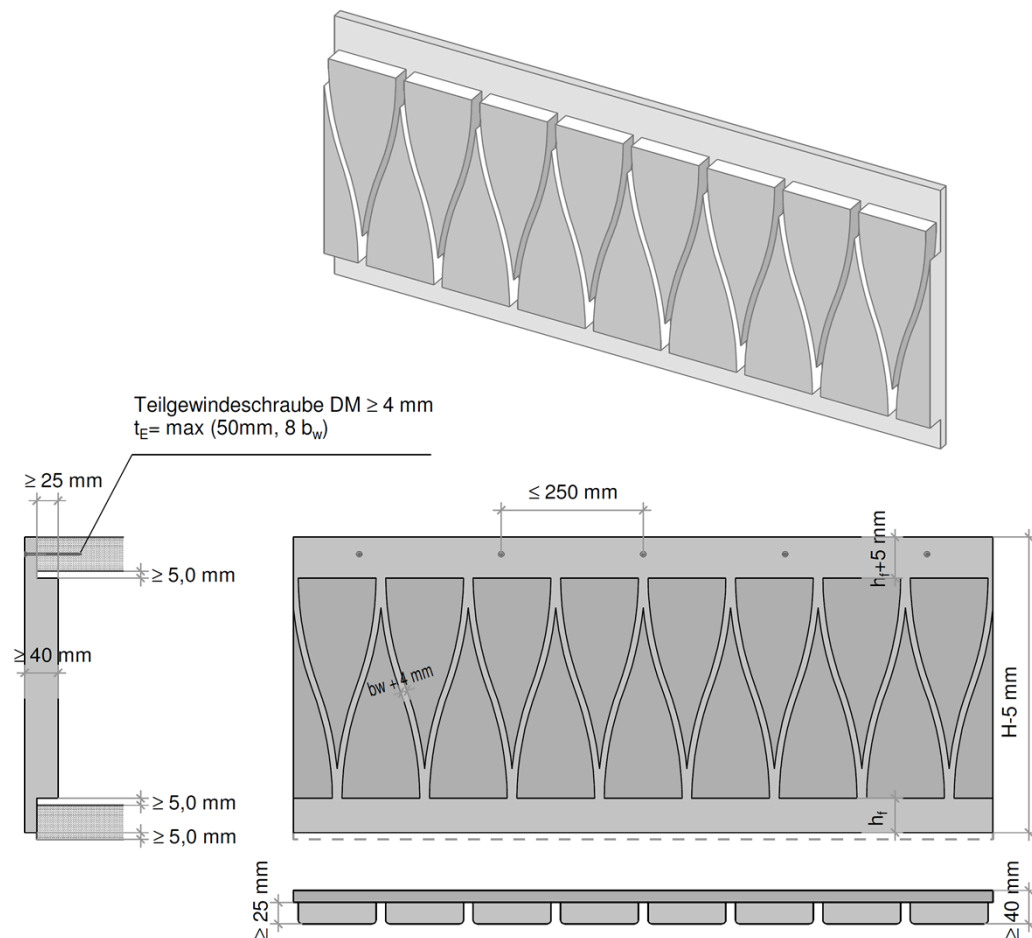
"Kielsteg-Elemente"

Anhang 1 Seite 2

Aufbau und Abmessungen

Kielsteg-Element: Stirnplatte

Die Kielstegelemente können mittels Verstärkungsplatten an der Stirnseite mit eingefrästem Negativmuster der S-förmig gebogenen Stegplatten im Bereich der Endauflagerungen verstärkt sein. Die Verstärkungsplatten bestehen dabei aus mindestens 3-lagigen Massivholzplatten gemäß EN 13986, aus Furnierschichtholz mit Querlagen gemäß EN 14374, aus mindestens 7-lagigem Sperrholz der Klasse EN 636-2 oder OSB/3 gemäß EN 13986. Sie haben mindestens eine Dicke von 40 mm. Die Nuttiefe in den Verstärkungsplatten beträgt mindestens 25 mm.



Die Verstärkungsplatten sind an der oberen Gurtholzlage konstruktiv längs des horizontalen Plattenrandes mit selbstbohrenden Teilgewindeschrauben befestigt. Die Schrauben haben dabei mindestens einen Durchmesser von 4 mm. Die Einschraubtiefen t_E in die Vollhölzer beträgt mindestens $t_E \geq \max(50 \text{ mm}, 8b_w)$. Der horizontale Abstand der Schrauben untereinander beträgt höchstens 250 mm. Der Schraubenabstand e_r vom Elementrand in Elementbreitenrichtung beträgt $b_f \leq e_r \leq 1,5b_f$.

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 1 Seite 3

Aufbau und Abmessungen

Komponenten

Gurte

Die Gurte bestehen aus:

- Kanthölzern aus Nadelholz, die die Anforderungen der Festigkeitsklassen C24 bis C30 bzw. T18 bis T21 nach EN 14081-1, bzw. nach EN 15497, erfüllen. Die Hölzer sind visuell oder maschinell sortiert.
- Homogen aufgebautem Brettschichtholz nach EN 14080 der Festigkeitsklassen GL24h bis GL30h
- Balkenschichtholz nach EN 14080 mit Lamellen der Festigkeitsklasse C24 bis C30.

Die Gurthölzer können bei Gurthöhen $h_{f,t,c} \geq 40$ mm mit Entlastungsnuten entsprechend Bild 1.2 versehen werden. Pro Gurtholz sind maximal 2 Entlastungsnuten vorzusehen.

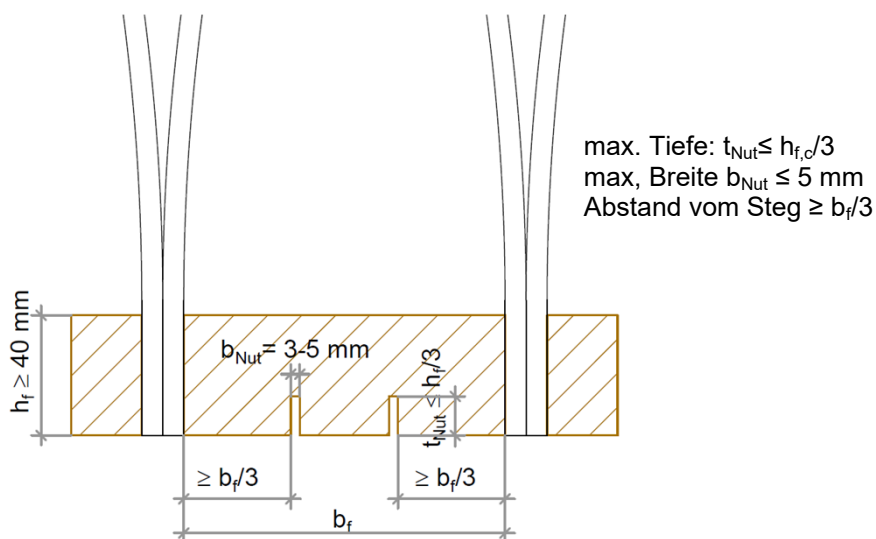


Bild 1.2: Entlastungsnuten

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 1 Seite 4

Aufbau und Abmessungen

Stege

Die Stege bestehen entweder aus Platten aus dreilagigem Sperrholz oder aus OSB-Platten.

Die Sperrholzplatten entsprechen den Vorgaben der EN 13986, Typ EN 636-2 gemäß EN 636¹ sowie den in Tabelle 1.2 genannten Biegefestigkeits- und Elastizitätsmodulklassen.

Tabelle 1.2: Biegefestigkeits- und Biege-Elastizitätsmodulklassen des Sperrholzes

	parallel zur Faserrichtung der Deckfurniere		rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere	
	min.	max.	min.	max.
Biegefestigkeitsklasse	F35	F70	F10	F15
Elastizitätsmodulkasse	E40	E100	E5	E20

Die OSB-Platten entsprechen den Vorgaben der EN 13986 und erfüllen mindestens die Anforderungen an Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich, Typ OSB/3, gemäß DIN EN 300².

Klebstoff

Für die Verklebung der Keilzinkenverbindungen sowie für die Verbindungen Gurt-Steg und Steg-Steg werden Klebstoffe verwendet, die dem Klebstofftyp I gemäß EN 301³ bzw. gemäß EN 15425⁴ entsprechen.

Für die Keilzinkenverbindung der Gurthölzer wird mindestens ein Klebstofftyp EN 15425 I 70 FJ 0,1 verwendet. Für die Gurt-Steg- sowie Steg-Steg-Verklebung wird mindestens der Klebstofftyp EN 301 I 90 GP 0,3S verwendet.

Dämmmaterial

Dämm-Material mit CE-Kennzeichnung zur Verfüllung der Hohlräume kann mit dem Kielsteg-Element zusammen geliefert werden. Die Kennwerte des Dämmmaterials sind in diesem Fall der Leistungserklärung des Dämmstoffes zu entnehmen.

1	EN 636:2012+A1:2015	Sperrholz - Anforderungen
2	EN 300:2006	Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) – Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen
3	EN 301:2023	Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenoplaste und Aminoplaste - Klassifizierung und Leistungsanforderungen
4	EN 15425:2023	Klebstoffe – Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis (PUR) für tragende Holzbauteile – Klassifizierung und Leistungsanforderungen

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 2 Seite 1

Bestimmungen zum Verwendungszweck

A.1.1 Verwendung und Belastung

Kielstegelemente sind dazu vorgesehen, als lasttragende Dach- und Deckenelemente in Bauwerken des Hochbaus eingesetzt zu werden. Dabei können Sie sowohl rechtwinklig zur Bauteilebene wirkende Lasten als auch in Bauteilebene wirkende Lasten aufnehmen. Die Bemessung der Elemente erfolgt nach EN 1995-1-1⁵ als einachsiger Balken.

Kielstegelemente sind nur zur Abtragung nicht ermüdungsrelevanter statischer oder quasi-statischer Einwirkungen vorgesehen.

Die Verwendung kann in den Nutzungsklassen 1 und 2 nach EN 1995-1-1 erfolgen.

A.1.2 Allgemeine Grundlagen

Bemessung

Die Europäische Technische Bewertung bezieht sich nur auf die Herstellung und Verwendung der hier gezeigten Elemente. Die Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der unter Verwendung von Kielsteg-Elementen hergestellten Bauwerke sind nicht Gegenstand dieser Europäischen Technischen Bewertung.

Die Leistungen der Produkte für den vorgesehenen Verwendungszweck sind unter folgenden Bedingungen gegeben:

- Die Bemessung der Elemente wird unter der Verantwortung eines Ingenieurs durchgeführt, der Erfahrung mit diesen Produkten hat
- Die Konstruktion berücksichtigt den Schutz der Elemente vor Witterung
- Die Elemente sind im Bauwerk keiner schädigenden Feuchtigkeit ausgesetzt. Es gelten die Definitionen der Nutzungsklassen 1 und 2 nach EN 1995-1-1. Kondensatbildung im Bereich der Elemente ist zuverlässig auszuschließen.
- Die Elemente sind richtig eingebaut.

Die Bemessung der Produkte kann unter Berücksichtigung des Abschnitts 3 sowie der Anhänge 4 bis 6 dieser Europäischen Technischen Bewertung nach EN 1995-1-1 erfolgen.

Für die Gurthölzer können die Abbrandraten der EN 1995-1-2⁶ entnommen werden.

A.1.3 Verpackung, Transport, Lagerung

Die Elemente sind während des Transports und während der Lagerung vor jeglichen Beschädigungen und schädlichen Einflüssen durch Feuchtigkeit zu schützen. Die Lagerung sollte bodenfrei erfolgen. Beschädigte Produkte dürfen nicht eingebaut werden.

A.1.4 Einbau

Der Einbau der Elemente sollte durch qualifiziertes Personal unter der Aufsicht des für die technischen Belange vor Ort Zuständigen erfolgen.

Die Elemente dürfen bei der Montage nur an eindeutig gekennzeichneten und statisch nachgewiesenen Befestigungsstellen bewegt werden.

Die Schmalseiten der Stegplatten der außenseitigen Gurtlagen dürfen bei der Montage höchstens kurzzeitig befeuchtet werden.

Falls Auflagerverstärkungen auf der Baustelle hergestellt werden, ist die Stirnplatte im Werk vorzufertigen und unter Einhaltung der Bestimmungen von Anlage 1 mit dem Element zu verbinden. Beschädigte Elemente dürfen nicht eingebaut werden.

⁵ EN 1995-1-1:2004+AC2006
+A1:2010+A2:2014

⁶ EN 1995-1-2:2004 +AC:2006
+A1:2008

Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1:
Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-2:
Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 3 Seite 1

Kennwerte des Produkts

Mechanische Festigkeit und Standsicherheit bei der Verwendung als Platte / Balken

Als mechanisches Modell wird die Bemessung eines ideellen I-Trägers, wie in Anhang 4 beschrieben, zugrunde gelegt. Anhang 5 gibt Hinweise, wie die Bemessung nach EN 1995-1-1 durchgeführt werden kann. Anhang 6 zeigt in einem Beispiel, wie sich die Tragfähigkeit des Elements aus den Kennwerten der Komponenten ergibt.

Die Kennwerte der Komponenten repräsentieren die Kennwerte des Kielstegelements in Bezug auf die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Folgende Kennwerte werden im Regelfall für die Berechnung benötigt:

Tabelle 2.1: Leistungsmerkmale der Komponenten in Bezug auf das Tragverhalten

Wesentliches Merkmal	Bewertungsverfahren	Leistung
Stegmaterial		
Biege-Elastizitätsmodul (Mittelwert) des Stegmaterials $E_{m,o,w,mean}$	EN 13986	$\geq 3600 \text{ N/mm}^2$
Schubmodul (Mittelwert) des Stegmaterials unter Scheibenbeanspruchung $G_{Scheibe,w,mean}$	EN 13986	$\geq 220 \text{ N/mm}^2$
Biege-Elastizitätsmodul (Mittelwert) des Stegmaterials bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene $E_{m,90,w,mean}$	EN 13986	$\geq 450 \text{ N/mm}^2$
Druck-Elastizitätsmodul (Mittelwert) in Plattenebene des Stegmaterials rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen $E_{c,90,w,mean}$	EN 13986	$\geq 400 \text{ N/mm}^2$
Charakteristische effektive Schubfestigkeit $f_{v,w,eff,k}$ des Stegmaterials in Stegebene	EAD 140022-00-0304, Abschnitt 2.2.5	siehe Tabelle 2.2
Charakteristische effektive Biegefestigkeit des Stegmaterials rechtwinklig zur Stegplattenebene $f_{m,90,w,eff,k}$	EAD 140022-00-0304, Abschnitt 2.2.5	$\geq 7,0 \text{ N/mm}^2$
Charakteristische Druckfestigkeit des Stegmaterials in Plattenebene rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen $f_{c,90,w,k}$	EN 13986	$\geq 2,5 \text{ N/mm}^2$
Rohdichte OSB-Platten	EN 13986	650 kg/m^3
Rohdichte Sperrholz-Platten	EN 13986	500 kg/m^3
Gurtmaterial		
Festigkeitsklasse	EN 14081-1, EN 14080 oder EN 15497, je nach Material	Mindestens C24
Rohdichte		420 kg/m^3

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 3
Seite 2

Kennwerte des Produkts

Tabelle 2.2: Effektive charakteristische Schubfestigkeit des Stegs in Stegebene $f_{v,w,eff,k}$ in N/mm²

Steg-Querschnitts- Seitenverhältnis h_w/b_w	Effektive charakteristische Schubfestigkeit in Stegebene $f_{v,w,eff,k}$ in N/mm ²	
	Sperrholz	OSB/3
< 30	7,5	-
$30 \leq h_w/b_w \leq 66$	$7,5 \left[0,1124 + 772 \cdot \left(\frac{b_w}{h_w} \right)^2 \right]$	
$45 \leq h_w/b_w \leq 66$	-	$4 \left[-0,0133 + 2144 \cdot \left(\frac{b_w}{h_w} \right)^2 \right]$

Tabelle 2.3 Dimensionsstabilität der Komponenten

Wesentliches Merkmal	Bewertungs- verfahren	Leistung
Stegmaterial		
OSB-Platten: Querkzugfestigkeit	EN 13986	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$
OSB-Platten: Dickenquellung	EN 13986	< 15 %
Sperrholz-Platten: Verklebungsklasse	EN 13986	Klasse 3
Gurtmaterial		
Nadelholz: Feuchtegehalt bei Herstellung	EN 13183-1 ¹	12 % $\pm$ 3 %

Tabelle 2.4: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz (BWR 3)

Wesentliches Merkmal	Bewertungs- verfahren	Leistung
Wasserdampfdurchlässigkeit μ		
Nadelholz (Gurt)	EN 14081-1 EN 15497 EN 14080	20 bis 50
OSB-Platten (Steg)	EN 13986	150 (feucht), 200 (trocken)
Sperrholz-Platten (Steg)	EN 13986	70 (feucht), 200 (trocken)
Freisetzung gefährlicher Substanzen		
OSB-Platten (Steg)	EN 13986	E1, PCP $\leq 5 \text{ ppm}$
Sperrholz-Platten (Steg)	EN 13986	E1, PCP $\leq 5 \text{ ppm}$
Nadelholz (Gurt)	EN 14081-1 EN 15497 EN 14080	E1

¹ EN 13183-1:2002

Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren

"Kielsteg-Elemente"

**Anhang 3
Seite 3**

Kennwerte des Produkts

Tabelle 2.5: Energieeinsparung und Wärmeschutz (BWR 6)

Wesentliches Merkmal	Bewertungs- verfahren	Leistung
Wärmeleitfähigkeit λ		
Gurtholz	EN 14081-1 EN 15497 EN 14080	0,13 W/(mK)
OSB-Platten (Steg)	EN 13986	0,13 W/(mK)
Sperrholz-Platten (Steg)	EN 13986	0,13 W/(mK)
Wärmekapazität c_p		
Gurtholz	EN 14081-1 EN 15497 EN 14080	1600 J/(kgK)
OSB-Platten (Steg)	EN 13986	1700 J/(kgK)
Sperrholz-Platten (Steg)	EN 13986	1600 J/(kgK)

Der Wärmedurchlasswiderstand der Elemente kann nach EN ISO 6946 oder EN ISO 10211 berechnet werden.

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 4 Seite 1

Rechenmodell für die Beanspruchung als Balken

Es wird davon ausgegangen, dass die Bemessung von Kielstegelementen als einachsig gespannte Platte (Balken) gemäß DIN EN 1995-1-1, Abschnitt 9.1.1 „geklebte Biegestäbe mit schmalen Stegen“, erfolgt. Das Bemessungsmodell sieht dabei vor, die Bemessung vereinfacht für einen ideellen I-Querschnitt durchzuführen, bei dem die S-förmig verlaufenden Stege der Dicke b_w als vertikal angesehen werden.

Rechenmodell für die Bemessung von Biegebeanspruchungen

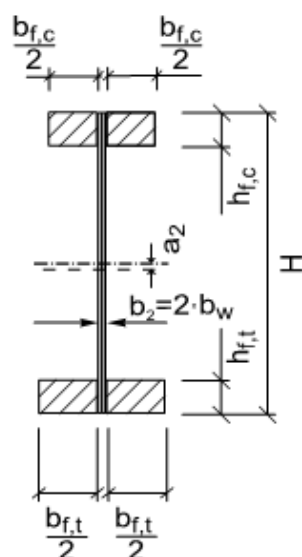


Bild 3.1:
ideeller Rechenquerschnitt

Der Steg des ideellen I-Querschnitts mit der ideellen Stegbreite $b_2 = 2 b_w$ besteht jeweils aus zwei Stegen des Kielstegelements. Dem idealisierten Steg werden biegezug- und biegedruckseitig jeweils symmetrisch Gurte der Breite $b_{f,t}/2$ bzw. $b_{f,c}/2$ zugeordnet. Das Gesamtelement besteht aus einer Reihe von n_b regelmäßigen Trägern, wobei n_b die Anzahl der ideellen I-Querschnitte im Gesamtelement bezeichnet. Halbe ideale Rechenquerschnitte am Rand des Bauteils (siehe Bild 3.2) können auf die gleiche Weise rechnerisch berücksichtigt werden. Angeschnittene Gurte (in Richtung der Gurtbreiten) dürfen mit höchstens der halben Breite $b_{f,c}/2$ bzw. $b_{f,t}/2$ in Rechnung gestellt werden.

Das Rechenmodell geht davon aus, dass jeder ideale I-Träger als Balken auf weiterführenden Bauteilen aufliegt. Sollte dies aufgrund der Bauwerksgeometrie nicht direkt möglich sein, wird empfohlen, geeignete konstruktive Maßnahmen zu treffen, um eine beidseitige Lagerung, wie im Rechenmodell vorgesehen, annehmen zu können. Unter dieser Voraussetzung können Kielstegelemente unter Einhaltung der Mindestbreiten schräg angeschnittene Ränder aufweisen.

Die in der Leistungserklärung angegebenen Kennwerte des Stegmaterials berücksichtigen die real vorhandene Stegkrümmung.

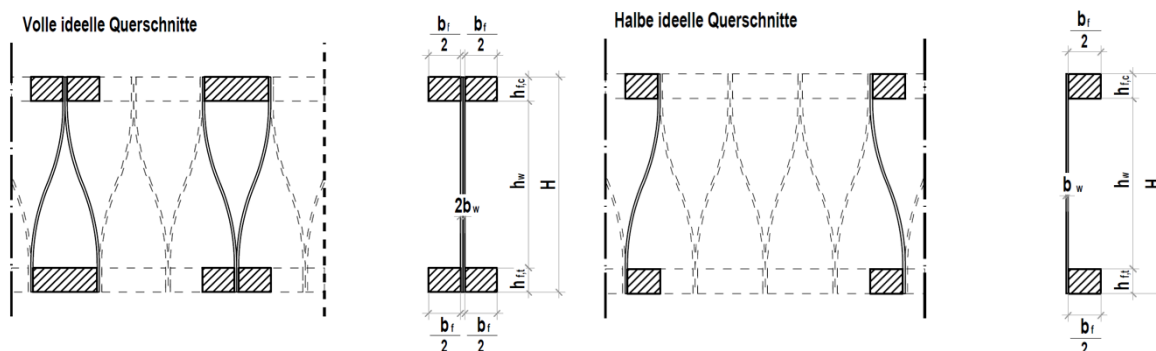


Bild 3.2 volle und halbe ideale Querschnitte

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 4 Seite 2

Rechenmodell für die Stegtragfähigkeit am Auflager

Die Bemessung erfolgt als ideeller I-Träger mit den Vorgaben gemäß EN 1995-1-1, Abschnitt 9.1.1 „geklebte Biegestäbe mit schmalen Stegen“. Um die besondere Geometrie zu berücksichtigen, dient das im Folgenden gezeigte erweiterte Rechenmodell mit welchem die effektiven Auflagertragfähigkeit F_{Rk} unter Berücksichtigung des Stegbeulens des halben ideellen Rechenquerschnittes bezogen auf die vertikale Symmetrielinie (1 Steg und halbe Gurtbreite b_f) ermittelt wird.

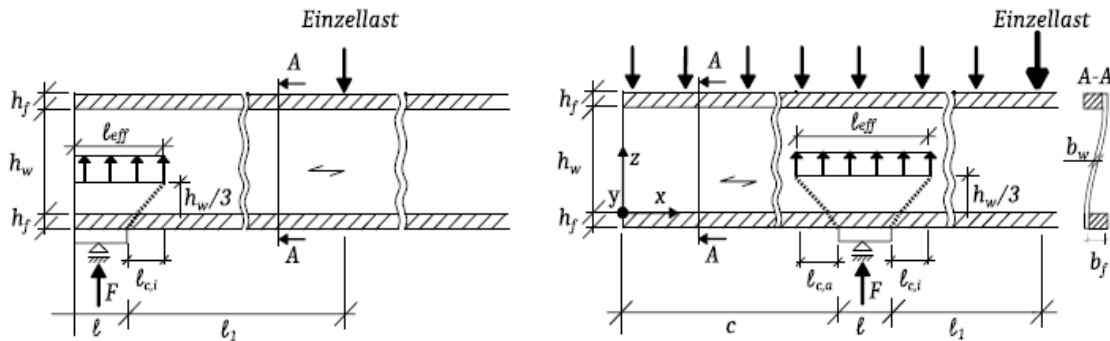


Bild 3.3: Auflagerbemessung

Die Bestimmung von F_{Rk} erfolgt gemäß Rechenmodell aus der impliziten Beziehung

$$\frac{M_{F,k}(F_{Rk}, F_{I,crit})}{W_w} = f_{m,90,w,eff,k}$$

mit

$$W_w = \frac{b_w^2}{6}$$

Widerstandsmoment der Stegplatte gegen „Quer“-Biegung mit Einheitslänge 1

$f_{m,90,w,eff,k}$

effektive Biegefestigkeit des Stegmaterials rechtwinklig zur Stegplattenebene

$$M_{F,k} = 0,7 M_H + M_H \left(A_1 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right) + A_2 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^2 + A_3 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^3 + A_4 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^4 \right)$$

$$M_H = \frac{b_f \cdot b_w^3 \cdot E_{m,90,w,sec,mean}}{4 \cdot L^2}$$

herstellbedingtes Einspannmoment

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 4
Seite 3

Rechenmodell für die Stegtragfähigkeit am Auflager

L Stegplatten-Bogenlänge zwischen den Gurtholz-Innenrändern:

$$\text{Näherungslösung: } L(h_w, b_f) = \sqrt{h_w^2 + \left(\frac{b_f}{2}\right)^2}$$

Exakte Lösung:

$$= \frac{\sqrt{4 + \left(\frac{3b_f}{2h_w}\right)^2} h_w (4b_f^6 + 25b_f^4 h_w^2 + 50b_f^2 h_w^4 + 32h_w^6)}{\left(\left(\frac{3b_f}{2}\right)^2 + (2h_w)^2\right)^{3/2}}$$

A₁ bis A₄

last-/überstandsabhängige Koeffizienten

Auflagertyp	Überstand	Koeffizienten			
	c	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Endauflager	$c \leq \frac{h}{4}$	- 0,117	0,242	- 0,0249	0,00143
Endauflager	$\frac{h}{4} < c \leq h$	- 0,312	0,600	- 0,128	0,0108
Kragarm + Durchlauf- träger	$c > h$	- 0,308	0,557	- 0,144	0,0170
Lasteinleitung	$c > 2 h$	- 0,0607	0,218	- 0,0344	0,00207

$$F_{l,crit} = F_{crit,\infty} \cdot (1 + k_f) \cdot k_{rel}$$

Stabilitätslast des fiktiven I-Profiles

mit

$$F_{crit,\infty} = \frac{\pi^2 \sqrt{E_{m,0,w,mean} \cdot E_{m,90,w,sec,mean}} \cdot I_w \cdot \sqrt{\left(\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}\right)} \cdot K(\bar{\ell}, \xi)}{L}$$

$$k_f = \frac{2 \cdot (b_f \cdot E_{m,0,f,mean} + 2 \cdot b_w \cdot E_{m,0,w,mean}) \cdot h_f^2 \cdot (4 \cdot h_f + 3 \cdot L)}{b_w \cdot E_{m,0,w,mean} \cdot (2 \cdot h_f + L)^3 + b_f \cdot E_{m,0,f,mean} \cdot h_f \cdot (4 \cdot h_f^2 + 6 \cdot h_f \cdot L + 3 \cdot L^2)}$$

$$k_{rel} = 1 + \frac{- 0,63}{1 + \left(\left(\frac{c + /8}{L \cdot 0,27}\right) \left(\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}\right)^{0,25}\right)^{2,3}}$$

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 4 Seite 4

Rechenmodell für die Stegtragfähigkeit am Auflager

$$I_w = \frac{b_w^3}{12}$$

Flächenträgheitsmoment des Steges
mit der Einheitslänge 1

$$K(\xi, \bar{\ell})$$

$$= a_0(\xi) + a_1(\xi) \bar{\ell} + a_2(\xi) \bar{\ell}^2$$

dimensionsloser Beulwert

mit

$$\bar{\ell} = \sqrt[4]{\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}} \cdot \frac{\ell}{L}$$

normierte Aufstandslänge

$$\xi = \frac{2 \cdot G_{Scheibe,w,mean}}{\sqrt{E_{m,0,w,mean} \cdot E_{m,90,w,sec,mean}}}$$

Kreuzzahl

$$a_0(\xi) = 3,15 + 1,51 \xi$$

$a_i(\xi)$ Beiwertebereich
 $0,3 \leq \xi \leq 1$

$$a_1(\xi) = 0,21 - 0,09 \xi$$

$$a_2(\xi) = 1,74 - 0,46 \xi$$

$$E_{m,0,w,mean}$$

Biege-Elastizitätsmodul (Mittelwert) des
Stegplattenmaterials

$$G_{Scheibe,w,mean}$$

Schubmodul (Mittelwert) des Stegpattenmaterials unter
Scheibenbeanspruchung

$$b_f$$

Breite der Gurthölzer

$$b_w$$

Dicke der Stegplatte

$$h_w$$

lichte Höhe der Stegplatte zwischen den Gurthölzern

$$E_{m,90,w,sec,mean}$$

Sekanten-Biege-Elastizitätsmodul der Stegplatte bei
Biegung rechtwinklig zur Plattenebene mit $E_{m,90,w,mean}$ als
Biege-Elastizitätsmodul:

$$E_{m,90,w,sec,mean} = 0,85 \cdot E_{m,90,w,mean}$$

$$\ell$$

Aufstands- bzw. Lasteinleitungslänge, siehe Bild 3.3

Bei Verwendung der stirnseitigen Verstärkung nach Anlage 1 darf der charakteristische Wert der Auflagertragfähigkeit F_{Rk} wie folgt erhöht angenommen werden:

- Produkte mit Sperrholzstegen, Aufstandslänge ≥ 50 mm, Überstandslänge $c \leq 20$ mm:
Erhöhung mit Faktor 1,7
- Produkte mit Sperrholzstegen, Aufstandslänge ≥ 50 mm, Überstandslänge $h_f \leq c \leq h$:
Erhöhung mit Faktor 1,2
- Produkte mit OSB-Stegen, Aufstandslänge ≥ 50 mm, Überstandslänge $0 \leq c \leq h$:
Erhöhung mit Faktor 1,1

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 5¹ Seite 1

Hinweise zur Bemessung nach EN 1995-1-1 (informativ)

Allgemeines

Der Hohlraum zwischen den Stegen der Elemente kann zur Verbesserung des Wärme- oder Schallschutzes mit Dämmmaterial ausgefüllt sein. Die aus dem Eigengewicht der Hohlraumverfüllung resultierende Zugbeanspruchung der Stegplatten und die resultierende Scherbeanspruchung der Gurt-Stegverklebungen sind bei den statischen Nachweisen zu berücksichtigen. Es wird empfohlen, die Interaktion der Scherbeanspruchungen in den Gurt-Stegverklebungen parallel zur Achsrichtung der Gurte infolge Schub aus Biegung und rechtwinklig zur Gurtachse infolge Querkraft durch das Verfüllmaterial als linear anzunehmen. Hierbei sollte die Rollschubfestigkeit der Gurthölzer höchstens zu 20 % ausgenutzt werden.

Die Lage und Ausbildung von Ausschnitten, Öffnungen und Durchführungen und dergleichen sind in der Planung und Bemessung zu berücksichtigen. Es wird davon ausgegangen, dass Einzelöffnungen bis 50 mm Größe in der Bemessung unberücksichtigt bleiben können.

Es wird empfohlen, Zugbeanspruchungen der Gurthölzer der Kielsteg Elemente quer zur Faserrichtung zu vermeiden.

Entlastungsnuten in den Gurthölzern sollten in der Berechnung der Querschnittswerte berücksichtigt werden.

Stegteile, die aufgrund von Einschnitten nicht mit Ober- und Untergurt tragfähig verbunden sind, sollten nicht als tragend angesetzt werden.

Beanspruchung als Balken

Die Bemessung kann mit dem in Anhang 3 gezeigten Bemessungsmodell erfolgen.

Für den Nachweis der Schwerpunktspannung von Zuggurten aus Vollholz nach EN 14081-1 oder EN 15497 darf die charakteristische Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung mit dem Faktor 1,2 erhöht werden. Der Faktor k_h nach EN 1995-1-1 sollte nicht in Ansatz gebracht werden.

Die Schubbemessung der Stege in Stegebene kann unter impliziter Berücksichtigung der Beulgefährdung und der S-förmigen Biegung rechtwinklig zur Stegebene ohne genauere Nachweise mit den in der Leistungserklärung angegebenen charakteristischen effektiven Schubfestigkeiten in Stegebene $f_{v,w,eff,k}$ geführt werden.

Für den Nachweis der Gurt-Steg-Klebefugen sowie der Steg-Steg-Klebefugen gelten sinngemäß die Gleichungen (9.10) der EN 1995-1-1. Abweichend hiervon sollte in den Nachweisen für die effektive Stegdicke die einfache Stegplattendicke $b_{eff} = b_w$ angesetzt werden. Der Abminderungsfaktor für die Fugenfestigkeit gemäß den Gleichungen (9.10) der EN 1995-1-1 sollte berücksichtigt werden, sofern die Bedingung $h_{f,c(t)} > 4 b_w$ erfüllt ist.

Bei Kielsteg Elementen mit Stegen aus Sperrholz darf bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Klebfugenscherfestigkeit die charakteristische Schubfestigkeit der Sperrholzplatten bei Beanspruchung rechtwinklig zur Plattenebene mit $1,3 \text{ N/mm}^2$ angesetzt werden. Bei Kielsteg Elementen mit Stegen aus OSB/3-Holzwerkstoffplatten sollte bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Klebfugenscherfestigkeit in Abhängigkeit von der Plattendicke $8 \leq b_w \text{ (mm)} \leq 12$ höchstens eine charakteristische Scherfestigkeit von $f_{v,OSB,k} = 1,2 - 0,05 b_w \text{ (N/mm}^2\text{)}$ angesetzt werden (b_w in mm).

Für die Berechnung der Durchbiegung von Kielsteg Elementen darf der mittlere Elastizitätsmodul von Gurthölzern aus Vollholz nach EN 14081-1 oder EN 15497 mit dem Faktor 1,04 erhöht werden.

¹ Die Information in diesem Anhang basiert nicht auf einer Bewertung entsprechend den Vorgaben des EAD, welches als Basis für die Ausstellung dieser ETA dient, und basiert somit nicht auf einer Übereinkunft innerhalb EOTA. Er ist nicht verbunden mit irgendeiner Vorgabe der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 09. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates und kann nicht genutzt werden, um eine Leistungserklärung nach dieser Verordnung zu erstellen.

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 5 Seite 2

Hinweise zur Bemessung nach EN 1995-1-1 (informativ)

Kombinierter Biege-Druck-Beulnachweis

Es wird empfohlen, den kombinierten Biege-Druck-Nachweis im Bereich des Auflagers ist wie folgt zu führen:

$$\left(\frac{2 \cdot 0,95 \cdot F_{Ed}}{3 \ell_{eff} \cdot b_w \cdot 2 \cdot f_{c,90,w,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{2 \cdot F_{Rd}} \right) \leq 1$$

F_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Auflagerkraft pro ideellem Rechenquerschnitt

$\ell_{eff} = \ell + \ell_{c,a} + \ell_{c,i}$ effektive Lastausbreitungslänge vgl. Bild 3.3

Mit

$$\ell_{c,i} = \min \left(30 \text{ mm}; \ell_1/2; \ell \right) + \frac{h_w}{3} < \ell_1/2, \text{ siehe Bild 3.3}$$

$$\ell_{c,a} = \min \left(30 \text{ mm}; c; \ell \right) \quad \text{Überstand c lastfrei, siehe Bild 3.3}$$

$$\ell_{c,a} = \min \left(30 \text{ mm}; c; \ell \right) + \frac{h_w}{3} < c \quad \text{Überstand c belastet, siehe Bild 3.3}$$

F_{Rd} Bemessungswert der Auflagerwiderstandskraft unter Berücksichtigung des Stegbeulens des halben ideellen Rechenquerschnittes bezogen auf die vertikale Symmetrielinie (1 Steg und halbe Gurtbreite b_f)

Druckspannungsnachweis längs der Auflagerfläche

Für den Gurt:

$$\frac{F_{f,Ed}}{\ell \cdot b_f \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,f,d}} \leq 1$$

$$\text{mit} \quad F_{f,Ed} = F_{Ed} \frac{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f}{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f + 2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}$$

und

$F_{f,Ed}$ Bemessungswert der anteiligen Auflagerkraft des Vollholzgurt

F_{Ed} Bemessungswert der gesamten einwirkenden Auflagerkraft pro ideellem Rechenquerschnitt

$E_{m,90,f,mean}$ Biege-Elastizitätsmodul (Mittelwert) des Gurtholzes rechtwinklig zur Faserrichtung

$E_{c,90,w,mean}$ Druck-Elastizitätsmodul (Mittelwert) in Plattenebene des Stegplattenmaterials rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen bzw. zur Herstellrichtung

$k_{c,90}$ Beiwert für Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung für Vollholz gemäß EN 1995-1-1; $k_{c,90} = 1,25$

$f_{c,90,f,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit der Gurthölzer rechtwinklig zur Faserrichtung

ℓ Aufstands- bzw. Lasteinleitungslänge

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 5 Seite 3

Hinweise zur Bemessung nach EN 1995-1-1 (informativ)

Für den Steg:

$$\frac{F_{w,Ed}}{2 \cdot \ell \cdot b_w \cdot f_{c,90,w,d}} \leq 1$$

mit
$$F_{w,Ed} = F_{Ed} \frac{2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f + 2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}$$

$F_{w,Ed}$ Bemessungswert der anteiligen Auflagerkraft des Steges der Dicke $2 \cdot b_w$

$f_{c,90,w,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit des Stegmaterials in Plattenebene rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen bzw. zur Herstellrichtung

Beanspruchung als Scheibe

Für scheibenartig als Dach- und Deckentafeln beanspruchte Kielsteg Elemente wird empfohlen, nur eine Gurtlage als starr verbundene Brettscheibe mit den Abmessungen:

Gurtdicke $h_{f,c,t}$ x Elementbreite b x Elementlänge l

anzusetzen. Die Brettscheibe sollte direkt an die Unterkonstruktion angeschlossen werden.

Werden mehrere Kielsteg Elemente zur Ausbildung einer Scheibe herangezogen, so sollten die Stöße parallel zur Gurt- und Elementlängsrichtung Schubsteif miteinander verbunden werden. Sofern die Verbindung der Elemente mittels mechanischer Verbindungsmittel erfolgt, wird empfohlen, die Nachgiebigkeit der Verbindungen zu berücksichtigen.

Verbindungsmittel

Der Nachweis des Anschlusses der Kielsteg Elemente an die Gebäudestruktur mittels mechanischer Verbindungsmittel kann gemäß EN 1995-1-1 erfolgen. Die Verbindungsmittel sollten unter Beachtung der Randabstände immer in den Gurthölzern angeordnet sein.

Für den Nachweis auf Abscheren sollten ausschließlich die Gurthölzer der direkt an der Unterkonstruktion angeschlossenen Gurtlage in Rechnung gestellt werden. Für den Nachweis auf Herausziehen von Schrauben in axialer Richtung (z. B. durch Windsogkräfte) können die Gewindelängen der Schrauben in den Gurthölzern der Ober- und Untergurtlagen angesetzt werden.

Seitliche Anschlüsse der Kielsteg Elemente über die Stegplatten im Hohlkammerbereich sind nicht vorgesehen. Bei seitlichen Anschlüssen der Gurthölzer können die Verbindungsmittel die seitlichen Stegplatten durchdringen.

Dauerhaftigkeit

Das Produkt ist zur Verwendung in Nutzungsklasse 1 oder 2 vorgesehen. Aufgrund der offenen Bauweise, speziell bei nicht vollständiger Dämmung der Elemente, ist bei hygrothermischen Nachweisen darauf zu achten, dass Kondensat aus dem anfallenden Dampfdiffusionsstrom im Bereich der Stege zu jeder Jahreszeit durch Sorption oder kapillares Saugen aufgenommen werden kann. Nicht absorbiertes Kondensat sowie Schimmelbildung an allen Oberflächen des Elements sind zuverlässig auszuschließen.

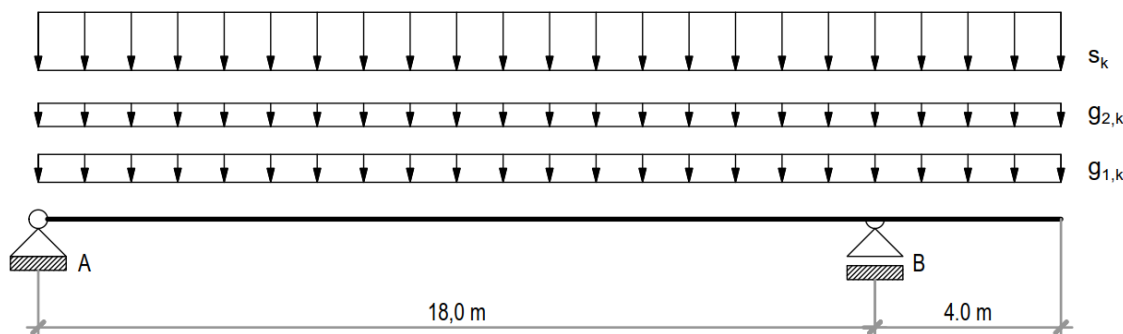
"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6¹ Seite 1

Beispielrechnung (informativ)

Die Berechnung erfolgt gemäß EN 1995-1-1, im speziellen gemäß Abschnitt 9.1 sowie den Vorgaben des Anhang 4 der vorliegenden ETA.

Statisches System: Einfeldträger mit Kragarm



Dachelement in Nutzungsklasse 2, mehrere Elemente parallel, Elementbreite 1170 mm.
Auflagerlänge an beiden Auflagern $l=100$ mm.

Belastung

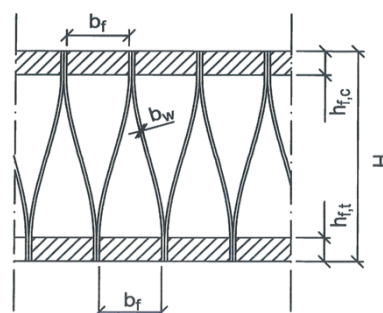
Eigengewicht Element	$g_{1,k}$	1,20 kN/m ²
Ständige Auflast	$g_{2,k}$	1,0 kN/m ²
Schneelast	s_k	2,5 kN/m ²

Aufbau des Elements

Element KSE 730/80/134

Stegmaterial OSB/3, Flansche Vollholz C24

Gesamthöhe	$H = 730$ mm
Höhe der Gurtquerschnitte	$h_f = 80$ mm
Breite der Gurtquerschnitte	$b_f = 134$ mm
Breite eines Stegs	$b_w = 10$ mm
Höhe des Stegbereichs	$h_w = 570$ mm



Materialkennwerte

Gurtmaterial (Index f)

	$E_{f,0,mean}$	11000	N/mm ²
	$E_{m,90,f,mean}$	370	N/mm ²
	$f_{c,0,f,k}$	21,0	N/mm ²
C24	$f_{t,0,f,k}$	14,0	N/mm ²
	$f_{c,90,f,k}$	2,5	N/mm ²
	k_{sys}	1,2	
	$f_{m,f,k}$	24,0	N/mm ²
	$\rho_{mean,f}$	420	kg/m ³

¹ Die Information in diesem Anhang basiert nicht auf einer Bewertung entsprechend den Vorgaben des EAD, welches als Basis für die Ausstellung dieser ETA diente, und basiert somit nicht auf einer Übereinkunft innerhalb EOTA. Er ist nicht verbunden mit irgendeiner Vorgabe der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 09. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates und kann nicht genutzt werden, um eine Leistungserklärung nach dieser Verordnung zu erstellen.

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 2

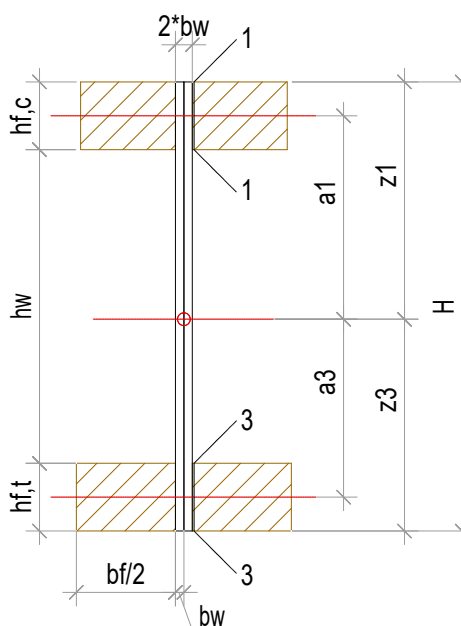
Beispielrechnung (informativ)

Stegmaterial (Index w)

OSB/3	$E_{t/c,0,w,mean}$	3800	N/mm ²
	$E_{m,0,w,mean}$	4930	N/mm ²
	$E_{m,90,w,mean}$	2180	N/mm ²
	$E_{c,90,w,mean}$	3000	N/mm ²
	$G_{Scheibe, w, mean}$	1080	N/mm ²
	$f_{m,90,w,k}$	12,70	N/mm ²
	$f_{c,0,w,k}$	15,90	N/mm ²
	$f_{t,0,w,k}$	9,90	N/mm ²
	$f_{c,90,w,k}$	12,90	N/mm ²
	$f_{v,w,eff,k,OSB/3}$ (gemäß Tabelle 2.2)	2,59	N/mm ²
	$f_{v,90,w,k}$	1,0	N/mm ²
	$\rho_{mean,w}$	600	kg/m ³

Berechnungen am ideellen Querschnitt

Die Berechnung der Querschnittswerte erfolgt am ideellen Querschnitt aus den auf einen Meter zusammengezogenen Gurtquerschnitten und Stegen.



"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 3

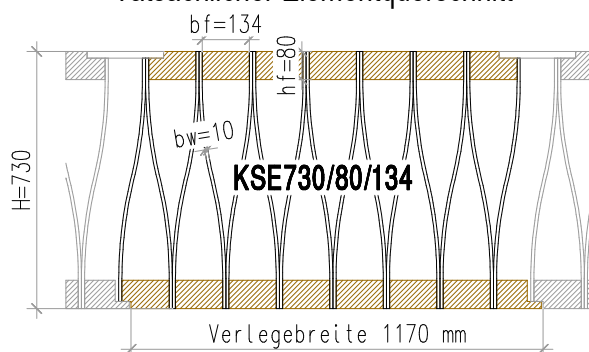
Beispielrechnung (informativ)

Bestimmung der rechnerischen Anzahl der Gurtquerschnitte und Stege pro laufendem Meter unter Berücksichtigung der Geometrie des Kielstegelementes und dessen Fugenausbildung

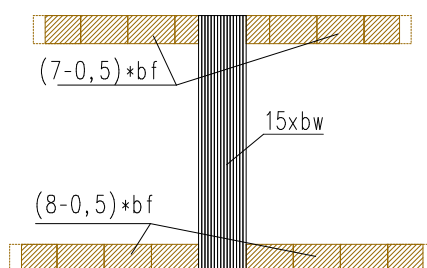
Die Geometrie eines üblichen Kielstegelementes der Breite 1170 mm sowie die Querschnittsschwächung resultierend aus Falzen an den Längskanten werden in diesem Beispiel in Form eines angepassten Nettoquerschnitts berücksichtigt.

Hierbei werden beide Gurte eines Elementquerschnitts um jeweils eine halbe Gurtbreite reduziert und der Gesamtquerschnitt auf einen ideellen Querschnitt mit 1 Meter Breite umgerechnet. Andere Elementbreiten, Falz- oder Fugenausbildungen wären in gleicher Weise zu berücksichtigen.

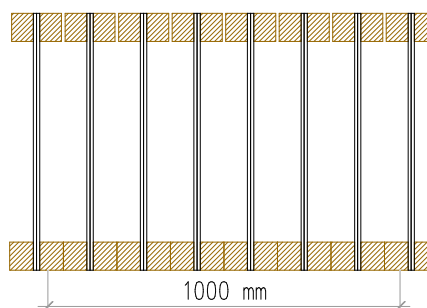
Tatsächlicher Elementquerschnitt



Vereinfachter Element-Nettoquerschnitt



Ideeller Querschnitt im Meterstreifen



"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 4

Beispielrechnung (informativ)

$$n_{f,c,net} = \frac{n_{f,c} - 0.5}{1.17} = \frac{7 - 0.5}{1.17} = 5.556 \text{ Stk./m}$$

$$n_{f,t,net} = \frac{n_{f,t} - 0.5}{1.17} = \frac{8 - 0.5}{1.17} = 6.410 \text{ Stk./m}$$

$$n_{w,net} = \frac{n_w}{1.17} = \frac{15}{1.17} = 12.821 \text{ Stk./m}$$

Ideelle Abmessungen:

Ideeller Gurt oben : $b_1 = n_{f,c,net} \cdot b_f = 744,50 \text{ mm}$

Ideeller Steg : $b_2 = n_{w,net} \cdot b_w = 128,21 \text{ mm}$

Ideeller Gurt unten : $b_3 = n_{f,t,net} \cdot b_f = 858,94 \text{ mm}$

$z_s = 346,46 \text{ mm}$; $a_1 = 343,54 \text{ mm}$; $a_3 = 306,46 \text{ mm}$

Flächenmomente und Steifigkeiten

Biegesteifigkeit

Für den Anfangszustand:

$$EI = \sum \frac{E_i \cdot b_i \cdot h_i^3}{12} + \sum E_i \cdot b_i \cdot h_i \cdot a_i^2 = 164,976 \text{ MN/m}^2$$

Äquivalenter Rechteckquerschnitt gleicher Biegesteifigkeit mit $E_{ref} = 11000 \text{ N/mm}^2$ zur Schnittgrößenermittlung:

$$E_{ref} I = EI \Rightarrow I = 14.997.856.197 \text{ mm}^4 ; H = 730 \text{ mm} \Rightarrow b_{ref} = 462,6 \text{ mm}$$

Für die Grenzzustände analog mit

$$E_{GZT,fin,Material} = \frac{E_{mean,Material}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def,Material}} \quad E_{GZG,fin,Material} = \frac{E_{mean,Material}}{1 + k_{def,Material}}$$

Vereinfachend wird hier $\psi_2=1,0$ angesetzt.

Gurte C24, Nutzungsklasse 2: $k_{def}=0,8$, $\gamma_M=1,3$

Steg OSB3, Nutzungsklasse 2: $k_{def}=2,25$, $\gamma_M=1,3$

	Anfangszustand		Grenzzustand Tragfähigkeit		Grenzzustand Gebrauchstauglichkeit	
	E_{mean}	EI	$E_{GZT,fin}$	$EI_{GZT,fin}$	$E_{GZG,fin}$	$EI_{GZG,fin}$
	N/mm ²	MNm ²	N/mm ²	MNm ²	N/mm ²	MNm ²
Gurte: C24	$E_{f,0,mean} = 11000$	164,98	4701	67,4661	6111	87,7032
Steg: OSB/3	$E_{t/c,0,w,mean} = 3800$		899		1169	

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6
Seite 5

Beispielrechnung (informativ)

Widerstandsmomente

	Anfangszustand				Endzustand = Grenzzustand Tragfähigkeit			
	Schwerpunkts- abstand		Widerstands- momente		Schwerpunkts- abstand		Widerstands- momente	
Randspannung Gurt oben	z1	383,54 mm	W ₁	39104 cm ³	z1	385,37 mm	W _{1,fin}	37241 cm ³
Randspannung Gurt unten	z3	346,46 mm	W ₃	43289 cm ³	z3	344,63 mm	W _{3,fin}	41643 cm ³
Schwerpunkt- spannung Gurt oben	a1	343,54 mm	W _{1,S}	43657 cm ³	a1	345,37 mm	W _{1,S,fin}	41554 cm ³
Schwerpunkt- spannung Gurt unten	a3	306,45 mm	W _{3,S}	48939 cm ³	a3	304,63 mm	W _{1,S,fin}	47111 cm ³
Randspannung Steg oben	z1	383,54 mm	W _{2,c}	113194 cm ³	z1	385,37 mm	W _{2,c,fin}	194736 cm ³
Randspannung Steg unten	z3	346,46 mm	W _{2,t}	125310 cm ³	z3	344,63 mm	W _{2,t,fin}	217758 cm ³

Statische Momente

	Anfangszustand		Endzustand = Grenzzustand Tragfähigkeit	
Vertikale Klebefuge Gurt/Steg oben	ES ₁	1,75545·10 ¹⁰ Nmm	ES _{1,fin}	7,54213·10 ⁹ Nmm
Vertikale Klebefuge Gurt/Steg unten	ES ₃	1,80689·10 ¹⁰ Nmm	ES _{3,fin}	7,67582·10 ⁹ Nmm
Stegschwerpunkt	ES ₂	2,60891·10 ¹¹ Nmm	ES _{3,fin}	1,05252·10 ¹¹ Nmm

Auflagerkräfte und Schnittgrößen

Statisches System: siehe oben. Grenzzustand der Tragfähigkeit für die maßgebende Lastkombination:

$$Y_{G,J} \cdot G_{k,j} + Y_{q,1} \cdot Q_{k,1}$$

$$k_{\text{mod}, C24} = 0,90; k_{\text{mod}, \text{OSB/3}} = 0,70$$

		LF1: g _{1,k} + g _{2,k}	LF 2: s _k	E _d nach EN 1995-1-1
Querkraft linkes Auflager, Auflagerkraft A	V _{A,re}	18,82 kN	21,39 kN	57,49 kN
Querkraft rechtes Auflager, linke Seite	V _{B,li}	-20,78 kN	-23,61 kN	-63,47 kN = V_d
Querkraft rechtes Auflager, rechte Seite	V _{B,re}	8,80 kN	10,00 kN	26,88 kN
Moment Auflager rechts	M _B	-17,60 kNm	-20,00 kNm	-53,76 kNm
Maximales Moment	M _{max}	80,52 kNm	91,50 kNm	245,94 kNm = M_d
Auflagerkraft B	B	29,58 kN	33,61 kN	90,35 kN = B_d

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 6

Beispielrechnung (informativ)

Spannungen und Nachweise

Es wird hier exemplarisch nur der Nachweis im Anfangszustand gezeigt. Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgt analog.

Der Material Sicherheitsbeiwert ist in diesem Beispiel für Gurt- und Stegmaterial mit $\gamma_M = 1,3$ angenommen. (Gemäß EN 1995-1-1, Tabelle 2.3, wäre für das Stegmaterial $\gamma_M = 1,20$ zulässig).

Randspannung in den Gurthölzern

$$\sigma_{1,d} = \frac{M_d}{W_1} = \frac{245,94 \text{ kNm}}{39104 \text{ cm}^3} = 6,29 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,d,C24} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3,d} = \frac{M_d}{W_3} = \frac{245,94 \text{ kNm}}{43289 \text{ cm}^3} = 5,68 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,d,C24} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

Schwerpunktspannung Zug / Druck

$$\sigma_{1,S,d} = \frac{M_d}{W_{1,S}} = 5,63 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,d,C24} \quad ; \quad \sigma_{3,S,d} = \frac{M_d}{W_{3,S}} = 5,03 \text{ N/mm}^2 \leq 1,2 \cdot f_{t,d,C24}$$

(Erhöhung $f_{t,d,C24}$ um 1,2 gemäß Anhang 4.)

Randspannung in den Stegplatten

$$\sigma_{2,c,d} = \frac{M_d}{W_{2,c}} = 2,17 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,d,OSB/3} = 8,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{2,t,d} = \frac{M_d}{W_{2,t}} = 1,96 \text{ N/mm}^2 \leq f_{t,d,OSB/3} = 5,33 \text{ N/mm}^2$$

Schubspannung in den Klebefugen Gurt / Steg

$$\tau_{1,d} = \left| \frac{V_d \cdot ES_1}{EI \cdot h_f} \right| = |-0,08442| \text{ N/mm}^2 \leq k_1 \cdot f_{v,90,d,OSB/3} = 0,22 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{3,d} = \left| \frac{V_d \cdot ES_3}{EI \cdot h_f} \right| = |-0,08689| \text{ N/mm}^2 \leq k_1 \cdot f_{v,90,d,OSB/3} = 0,22 \text{ N/mm}^2$$

mit

$$k_1 = \begin{cases} 1,0 & h_f \leq 4 \cdot b_w \\ \left(\frac{4 \cdot b_w}{h_f} \right) & h_f > 4 \cdot b_w \end{cases} \Rightarrow k_1 = \left(\frac{4 \cdot 10}{80} \right)^{0,8} = 0,574$$

$$f_{v,90,k} = \begin{cases} 1,2 - 0,05 \cdot b_w \\ 1,0 \end{cases}$$

Größter anzusetzender Wert gemäß Anhang 5

Materialwert laut Leistungserklärung

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 7

Beispielrechnung (informativ)

Schubspannung am Schwerpunkt

$$|\tau_{2,d}| = \left| \frac{V_d \cdot ES_2}{EI \cdot b_2} \right| = |-0,7828| \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,w,eff,05,d,OSB/3} = 1,39 \text{ N/mm}^2$$

Bemessung am Auflager B

Druckspannungsnachweis längs der Auflagerfläche am Auflager B gemäß Anhang 4

F_{Ed} Bemessungswert der gesamten einwirkenden Auflagerkraft pro ideellem Rechenquerschnitt

$$F_{Ed} = \frac{B_d}{n_{f,t,net}} = 14,10 \text{ kN}$$

Druckspannung im Gurtquerschnitt:

$$\frac{F_{f,Ed}}{\ell \cdot b_f} = \frac{6,38 \text{ kN}}{100 \text{ mm} \cdot 134 \text{ mm}} = 0,476 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,f,d} = 1,25 \cdot 1,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

mit

$F_{f,Ed}$ Bemessungswert der anteiligen Auflagerkraft des Vollholzgurtes

$$F_{f,Ed} = F_{Ed} \frac{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f}{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f + 2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ gemäß EN 1995-1-1}$$

ℓ Auflagerlänge 100 mm

Druckspannung im Stegquerschnitt:

$$\frac{F_{w,Ed}}{2 \cdot \ell \cdot b_w} = \frac{7,72 \text{ kN}}{2 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}} \leq f_{c,90,w,d} = 6,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

mit

$F_{w,Ed}$ Bemessungswert der anteiligen Auflagerkraft des Steges der Dicke $2 \cdot b_w$

$$F_{w,Ed} = F_{Ed} \frac{2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f + 2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}$$

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 8

Beispielrechnung (informativ)

Bestimmung des Bemessungswertes der Auflagerwiderstandskraft F_{Rd} (1 Steg und halbe Gurtbr. b_f)

Die Bestimmung von F_{Rk} erfolgt gemäß Anhang 3 aus der impliziten Beziehung

$$\frac{M_{F,k}(F_{Rk}, F_{I,crit})}{W_w} = f_{m,90,w,eff,k}$$

$f_{m,90,w,eff,k} = f_{m,90,w,k}$ für diese Beispielrechnung.

Ermittlung:

$$E_{m,90,w,sec,mean} = 0,85 \cdot E_{m,90,w,mean} = 1853 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kreuzzahl } \xi = \frac{2 \cdot G_{Scheibe,w,mean}}{\sqrt{E_{m,0,w,mean} \cdot E_{m,90,w,sec,mean}}} = 0,714$$

$$a_0(\xi) = 3,15 + 1,51 \xi = 4,23$$

$$a_1(\xi) = 0,21 - 0,09 \xi = 0,15$$

$$a_2(\xi) = 1,74 - 0,46 \xi = 1,41$$

$$\text{Bogenlänge } L = \frac{\sqrt{4 + \left(\frac{3b_f}{2h_w}\right)^2} h_w (4b_f^6 + 25b_f^4 h_w^2 + 50b_f^2 h_w^4 + 32h_w^6)}{\left(\left(\frac{3b_f}{2}\right)^2 + (2h_w)^2\right)^{3/2}} = 574,9 \text{ mm}$$

$$\text{Normierte Aufstandslänge } \bar{\ell} = \sqrt[4]{\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}} \cdot \frac{\ell}{L} = 0,136$$

$$\text{Beulwert } K(\xi, \bar{\ell}) = a_0(\xi) + a_1(\xi) \bar{\ell} + a_2(\xi) \bar{\ell}^2 = 4,275$$

Beiwerte

$$k_f = \frac{2 \cdot (b_f \cdot E_{m,0,f,mean} + 2 \cdot b_w \cdot E_{m,0,w,mean}) \cdot h_f^2 \cdot (4 \cdot h_f + 3 \cdot L)}{b_w \cdot E_{m,0,w,mean} \cdot (2 \cdot h_f + L)^3 + b_f \cdot E_{m,0,f,mean} \cdot h_f \cdot (4 \cdot h_f^2 + 6 \cdot h_f \cdot L + 3 \cdot L^2)} = 0,239$$

$$k_{rel} = 1 + \frac{-0,63}{1 + \left(\left(\frac{c + \ell/8}{L \cdot 0,27}\right) \left(\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}\right)^{0,25}\right)^{2,3}} = 0,9994$$

mit $c = 3950 \text{ mm}$

Widerstandsmoment und Trägheitsmoment der Stegplatten

$$W_w = \frac{b_w^2}{6} = 16,67 \text{ mm}^2 \quad I_w = \frac{b_w^3}{12} = 83,33 \text{ mm}^3$$

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 9

Beispielrechnung (informativ)

Stabilitätslast des fiktiven I-Profiles $F_{I,crit} = F_{crit,\infty} \cdot (1 + k_f) \cdot k_{rel}$

$$F_{crit,\infty} = \frac{\pi^2 \sqrt{E_{m,0,w,mean} \cdot E_{m,90,w,sec,mean} \cdot I_w} \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}\right) \cdot K(\bar{\ell}, \xi)}}{L} = 14475 \text{ N}$$

$$F_{I,crit} = 17927 \text{ N}$$

Herstellbedingtes Einspannmoment

$$M_H = \frac{b_f \cdot b_w^3 \cdot E_{m,90,w,sec,mean}}{4 \cdot L^2} = 187,8 \text{ Nm/m}$$

Iterative Ermittlung von F_{Rk} aus der Gleichung

$$M_{F,k} = 0,7 M_H + M_H \left(A_1 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right) + A_2 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^2 + A_3 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^3 + A_4 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^4 \right) = f_{m,90,w,eff,k} \cdot W_w$$

Koeffizienten gemäß Anhang 3, Lasteinleitung, Auflagerüberstand $c > 2h$:

A_1	A_2	A_3	A_4
-0,0607	0,218	-0,0344	0,00207

Iteration mit dem Newton-Verfahren

$$f(F_{R,k}) = 0,7 M_H + M_H \left(A_1 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right) + A_2 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^2 + A_3 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^3 + A_4 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^4 \right) - f_{m,90,w,eff,k} \cdot W_w = 0$$

$$f'(F_{R,k}) = M_H \left(A_1 \frac{1}{F_{I,crit}} + A_2 \frac{2 \cdot F_{Rk}}{F_{I,crit}^2} + A_3 \frac{3 \cdot F_{Rk}^2}{F_{I,crit}^3} + A_4 \frac{4 \cdot F_{Rk}^3}{F_{I,crit}^4} \right)$$

$$F_{R,k,n+1} = F_{R,k,n} - \frac{f(F_{R,k})}{f'(F_{R,k})}$$

Startwert der Iteration: $F_{r,k(0)} = 2 \cdot F_{I,crit} = 35854 \text{ N}$

$F_{Rk} = 32,641 \text{ kN}$ nach Iteration (Toleranzbereich 10^{-4} N)

$$F_{Rd} = k_{mod} \frac{F_{Rk}}{M} = 17,56 \text{ kN} \quad (k_{mod} = 0,7)$$

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 10

Beispielrechnung (informativ)

Kombinierter Biege-Druck-Beulnachweis gemäß Anlage 4

$$\left(\frac{2 \cdot 0,95 \cdot F_{Ed}}{3 \ell_{eff} \cdot b_w \cdot 2 \cdot f_{c,90,w,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{2 \cdot F_{Rd}} \right) = 0,42 \leq 1$$

mit

ℓ_{eff} effektive Lastausbreitungslänge vgl. Anhang 3, Bild 3.3

$$\ell_{eff} = \ell + \ell_{c,a} + \ell_{c,i} = 100 + 220 + 220 = 540 \text{ mm}$$

Bemessung am Auflager A

Druckspannungsnachweis längs der Auflagerfläche am Auflager A gemäß Anhang 4

F_{Ed} Bemessungswert der gesamten einwirkenden Auflagerkraft pro ideellem Rechenquerschnitt

$$F_{Ed} = \frac{A_d}{n_{f,t,net}} = 8,97 \text{ kN}$$

Druckspannung im Gurtquerschnitt:

$$\frac{F_{f,Ed}}{\ell \cdot b_f} = \frac{4,06 \text{ kN}}{100 \text{ mm} \cdot 134 \text{ mm}} = 0,30 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,f,d} = 1,25 \cdot 1,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

mit

$F_{f,Ed}$ Bemessungswert der anteiligen Auflagerkraft des Vollholzgurt

$$F_{f,Ed} = F_{Ed} \frac{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f}{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f + 2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ gemäß EN 1995-1-1}$$

ℓ Auflagerlänge 100 mm

Druckspannung im Stegquerschnitt:

$$\frac{F_{w,Ed}}{2 \cdot \ell \cdot b_w} = \frac{4,91 \text{ kN}}{2 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}} \leq f_{c,90,w,d} = 6,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

mit

$F_{w,Ed}$ Bemessungswert der anteiligen Auflagerkraft des Steges der Dicke $2 \cdot b_w$

$$F_{w,Ed} = F_{Ed} \frac{2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}{E_{m,90,f,mean} \cdot b_f + 2 \cdot E_{c,90,w,mean} \cdot b_w}$$

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 11

Beispielrechnung (informativ)

Bestimmung des Bemessungswertes der Auflagerwiderstandskraft F_{Rd} (1 Steg und halbe Gurtbr. b_f)

Die Bestimmung von F_{Rk} erfolgt gemäß Anhang 3 aus der impliziten Beziehung

$$\frac{M_{F,k}(F_{Rk}, F_{I,crit})}{W_w} = f_{m,90,w,eff,k}$$

$f_{m,90,w,eff,k} = f_{m,90,w,k}$ für diese Beispielrechnung.

Ermittlung:

$$E_{m,90,w,sec,mean} = 0,85 \cdot E_{m,90,w,mean} = 1853 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kreuzzahl } \xi = \frac{2 \cdot G_{Scheibe,w,mean}}{\sqrt{E_{m,0,w,mean} \cdot E_{m,90,w,sec,mean}}} = 0,714$$

$$a_0(\xi) = 3,15 + 1,51 \xi = 4,23$$

$$a_1(\xi) = 0,21 - 0,09 \xi = 0,15$$

$$a_2(\xi) = 1,74 - 0,46 \xi = 1,41$$

$$\text{Bogenlänge } L = \frac{\sqrt{4 + \left(\frac{3b_f}{2h_w}\right)^2} h_w (4b_f^6 + 25b_f^4 h_w^2 + 50b_f^2 h_w^4 + 32h_w^6)}{\left(\left(\frac{3b_f}{2}\right)^2 + (2h_w)^2\right)^{3/2}} = 574,9 \text{ mm}$$

$$\text{Normierte Aufstandslänge } \bar{l} = \sqrt[4]{\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}} \cdot \frac{\ell}{L} = 0,136$$

$$\text{Beulwert } K(\xi, \bar{l}) = a_0(\xi) + a_1(\xi) \bar{l} + a_2(\xi) \bar{l}^2 = 4,275$$

Beiwerte

$$k_f = \frac{2 \cdot (b_f \cdot E_{m,0,f,mean} + 2 \cdot b_w \cdot E_{m,0,w,mean}) \cdot h_f^2 \cdot (4 \cdot h_f + 3 \cdot L)}{b_w \cdot E_{m,0,w,mean} \cdot (2 \cdot h_f + L)^3 + b_f \cdot E_{m,0,f,mean} \cdot h_f \cdot (4 \cdot h_f^2 + 6 \cdot h_f \cdot L + 3 \cdot L^2)} = 0,239$$

$$k_{rel} = 1 + \frac{-0,63}{1 + \left(\left(\frac{c + \ell/8}{L \cdot 0,27}\right) \left(\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}\right)^{0,25}\right)^{2,3}} = 0,371$$

mit $c = 0 \text{ mm}$

Widerstandsmoment und Trägheitsmoment der Stegplatten

$$W_w = \frac{b_w^2}{6} = 16,67 \text{ mm}^2 \quad I_w = \frac{b_w^3}{12} = 83,33 \text{ mm}^3$$

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6 Seite 12

Beispielrechnung (informativ)

Stabilitätslast des fiktiven I-Profiles $F_{I,crit} = F_{crit,\infty} \cdot (1 + k_f) \cdot k_{rel}$

$$F_{crit,\infty} = \frac{\pi^2 \sqrt{E_{m,0,w,mean} \cdot E_{m,90,w,sec,mean}} \cdot I_w \cdot \sqrt{\left(\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}}\right)} \cdot K(\bar{\ell}, \xi)}{L} = 14475 \text{ N}$$

$$F_{I,crit} = 6656,63 \text{ N}$$

Herstellbedingtes Einspannmoment

$$M_H = \frac{b_f \cdot b_w^3 \cdot E_{m,90,w,sec,mean}}{4 \cdot L^2} = 187,8 \text{ Nm/m}$$

Iterative Ermittlung von F_{Rk} aus der Gleichung

$$M_{F,k} = 0,7 M_H + M_H \left(A_1 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right) + A_2 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^2 + A_3 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^3 + A_4 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^4 \right) = f_{m,90,w,eff,k} \cdot W_w$$

Koeffizienten gemäß Anhang 3, Endauflager, Auflagerüberstand $c < h/4$:

A_1	A_2	A_3	A_4
-0,117	0,242	-0,0249	0,00143

Iteration mit dem Newton-Verfahren

$$f(F_{R,k}) = 0,7 M_H + M_H \left(A_1 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right) + A_2 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^2 + A_3 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^3 + A_4 \left(\frac{F_{Rk}}{F_{I,crit}} \right)^4 \right) - f_{m,90,w,eff,k} \cdot W_w = 0$$

$$f'(F_{R,k}) = M_H \left(A_1 \frac{1}{F_{I,crit}} + A_2 \frac{2 \cdot F_{Rk}}{F_{I,crit}^2} + A_3 \frac{3 \cdot F_{Rk}^2}{F_{I,crit}^3} + A_4 \frac{4 \cdot F_{Rk}^3}{F_{I,crit}^4} \right)$$

$$F_{R,k,n+1} = F_{R,k,n} - \frac{f(F_{R,k})}{f'(F_{R,k})}$$

Startwert der Iteration: $F_{r,k(0)} = 2 \cdot F_{I,crit} = 13313 \text{ N}$

$F_{Rk} = 11,785 \text{ kN}$ nach Iteration (Toleranzbereich 10^{-4} N)

$$F_{Rd} = k_{mod} \frac{F_{Rk}}{M} = 6,35 \text{ kN} \quad (k_{mod} = 0,7)$$

"Kielsteg-Elemente"

**Anhang 6
Seite 13**

Beispielrechnung (informativ)

Kombinierter Biege-Druck-Beulnachweis gemäß Anlage 4

$$\left(\frac{2 \cdot 0,95 \cdot F_{Ed}}{3 \ell_{eff} \cdot b_w \cdot 2 \cdot f_{c,90,w,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{2 \cdot F_{Rd}} \right) = 0,72 \leq 1$$

mit

ℓ_{eff} effektive Lastausbreitungslänge vgl. Anhang 3, Bild 3.3

$$\ell_{eff} = \ell + \ell_{c,a} + \ell_{c,i} = 100 + 220 + 220 = 540 \text{ mm}$$

Obwohl die Auflagerkraft am Auflager B deutlich größer ist, stellt sich aufgrund der ungünstigeren Auflagersituation ohne Auflagerüberstand das Endauflager A als bemessungsrelevant dar.