

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten

Bautechnisches Prüfamnt

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



Europäische Technische Bewertung

ETA-18/1014
vom 14. Mai 2019

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

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

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

ETAG 019,
verwendet als EAD gemäß Artikel 66 Absatz 3 der Verordnung (EU) Nr. 305/2011

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 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 ETAG 019⁵, Abschnitt 2.1:

- 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.

| | | |
|---|-----------------------|--|
| 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 | ETAG 019:2005 | Vorgefertigte tragende Tafeln aus Holz und Holzwerkstoffen |

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

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 |
|--|-------------------------|---------------------------|
| Tragfähigkeit | siehe Anhang 3 | |
| Gebrauchstauglichkeit | siehe Anhang 3 | |
| Dimensionsstabilität | | |
| Stegmaterial | | |
| OSB-Platten: Querzugfestigkeit | 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 ⁶ | $12 \% \pm 3 \%$ |

3.2 Brandschutz (BWR 2)

| Wesentliches Merkmal | Bewertungsverfahren | Leistung |
|------------------------|--|----------|
| Brandverhalten | | |
| Kielsteg-Element | EN 13501-1 | Klasse E |
| Feuerwiderstand | | |
| Kielsteg-Element | Keine Leistung bewertet. (Für die Gurthölzer siehe Anhang 2) | |

⁶ EN 13183-1:2002

Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren

3.3 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 ppm |
| Sperrholz-Platten (Steg) | EN 13986 | E1, PCP \leq 5 ppm |
| Nadelholz (Gurt) | EN 14081-1 EN 15497 EN 14080 | E1 |
| Sonstige gefährliche Substanzen | ETAG 019, Punkt 5.3.3 | Keine sonstigen gefährlichen Substanzen |

3.4 Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung (BWR 4)

Das Produkt enthält keine Bodenbeläge, Zur Rutschfestigkeit wurden deshalb keine Leistungen ermittelt.

| Wesentliches Merkmal | Bewertungs- verfahren | Leistung |
|-------------------------|--------------------------|-------------|
| Schlagfestigkeit | ETAG 019, Punkt 5.4.2 | Ausreichend |

3.5 Schallschutz (BWR 5)

| Wesentliches Merkmal | Bewertungs- verfahren | Leistung |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Luftschalldämmung | ETAG 019, Punkt 5.5.1 | Keine Leistung bewertet |
| Körperschalldämmung | ETAG 019, Punkt 5.5.2 | Keine Leistung bewertet |

3.6 Energieeinsparung und Wärmeschutz (BWR 6)

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

| 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) |
| Thermische Trägheit | | |
| 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) |
| Rohdichte | | |
| Gurtholz | EN 14081-1 EN 15497 EN 14080 | 420 kg/m ³ |
| OSB-Platten (Steg) | EN 13986 | 650 kg/m ³ |
| Sperrholz-Platten (Steg) | EN 13986 | 500 kg/m ³ |

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

Gemäß der Richtlinie für Europäische technische Zulassungen ETAG Nr. 019, verwendet als Europäisches Bewertungsdokument, gilt folgende Rechtsgrundlage: Entscheidung der Kommission 2000/447/EC⁷.

Das anzuwendende System ist: 1.

⁷ Official Journal of the European Communities No L 180, 19.07.2000

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 14. Mai 2019 vom Deutschen Institut für Bautechnik

BD Dipl.-Ing. Andreas Kummerow
Abteilungsleiter

Beglaubigt

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 1
Seite 1

Aufbau und Abmessungen

Kielsteg-Element: Querschnitt

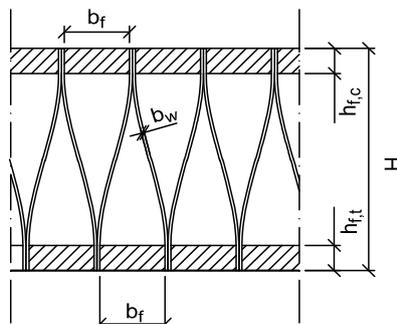


Bild1.1: "Kielsteg"-Element, Querschnitt

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 (Nerndicke 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 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.

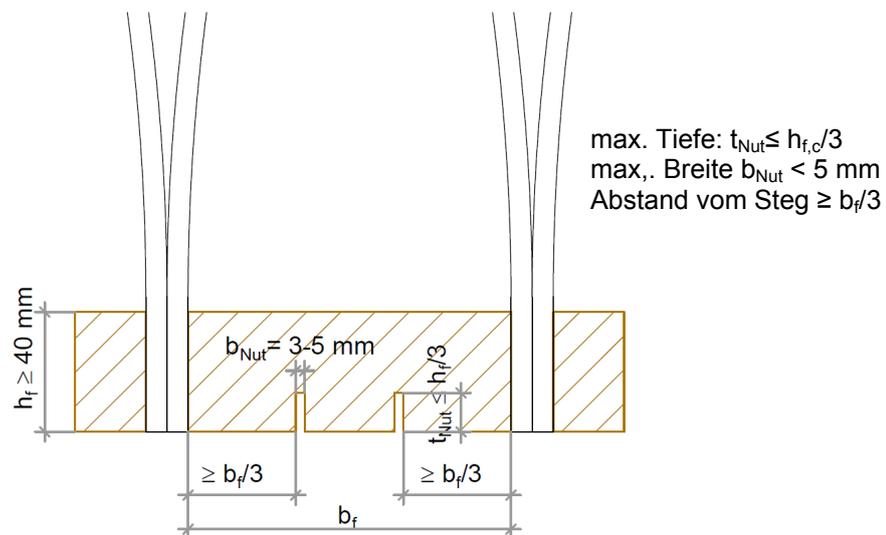


Bild 1.2: Entlastungsnuten

"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 |
| Elastizitätsmodulkategorie | 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 70 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.

elektronische Kopie der eta des dibt: eta-18/1014

| | | |
|---|---------------------|--|
| 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 301:2017 | Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenoplaste und Aminoplaste - Klassifizierung und Leistungsanforderungen |
| 4 | EN 15425:2017 | 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 vorwiegend ruhender Belastungen bzw. 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 schädigen 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 mit Bezug zur mechanischen
Standicherheit und Festigkeit (BWR 1)**

Mechanische Festigkeit und Standicherheit 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 | Bewertungs- verfahren | 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 | ETAG 019, Abschnitt 5.1.1.2 | Siehe Tabelle 2.2 |
| Charakteristische effektive Biegefestigkeit des Stegmaterials rechtwinklig zur Stegplattenebene $f_{m,90,w,eff,k}$ | ETAG 019, Abschnitt 5.1.1.2 | $\geq 7,0 \text{ N/mm}^2$ |
| Charakteristische Druckfestigkeit des Stegmaterials in Plattenebene rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen $f_{c,90,w,k}$ | EN 13986 | $\geq 2,5 \text{ N/mm}^2$ |
| Gurtmaterial | | |
| Festigkeitsklasse | EN 14081-1, EN 14080 oder EN 15497, je nach Material | Mindestens C24 |

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 3
Seite 2

Kennwerte des Produkts mit Bezug zur mechanischen
Standicherheit und Festigkeit (BWR 1)

Tabelle 2.2: Effektive charakteristische Schubfestigkeit des Stegs in Stegebene $f_{v,w,eff,k}$ in N/mm^2

| 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 | - |
| $30 \leq h_w/b_w \leq 66$ | $7,5 \left[0,1124 + 772 \cdot \left(\frac{b_w}{h_w} \right)^2 \right]$ | |
| $45 \leq h_w/b_w \leq 66$ | - | $4 \left[-0,0133 + 2144 \cdot \left(\frac{b_w}{h_w} \right)^2 \right]$ |

"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

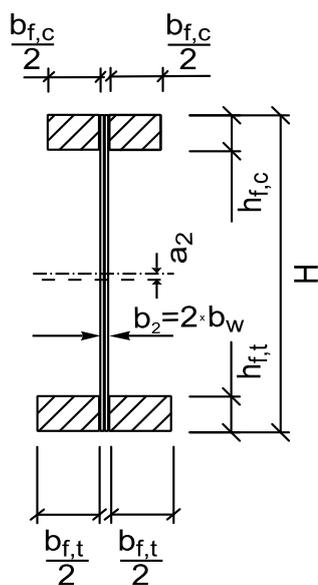


Bild 3.1:
ideeller Rechenquerschnitt

Der Steg des ideellen I-Querschnitts mit der ideellen Stegweite $b_2 = 2 b_w$ 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.

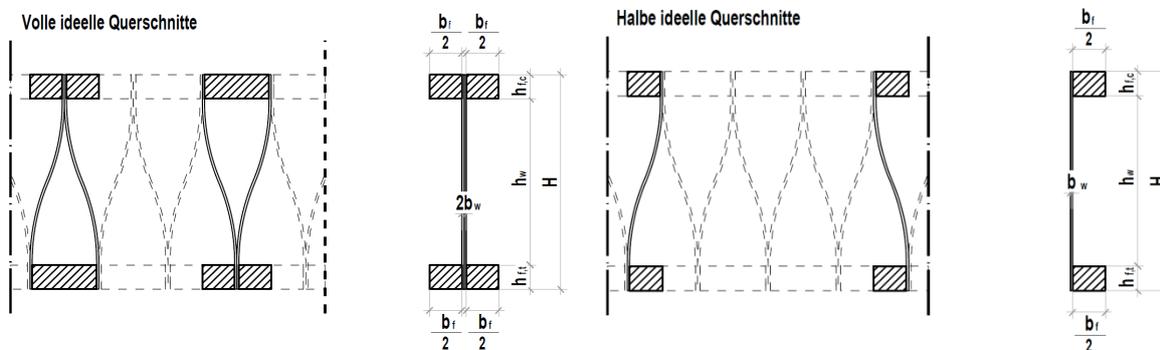


Bild 3.2 volle und halbe ideale Querschnitte

"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.

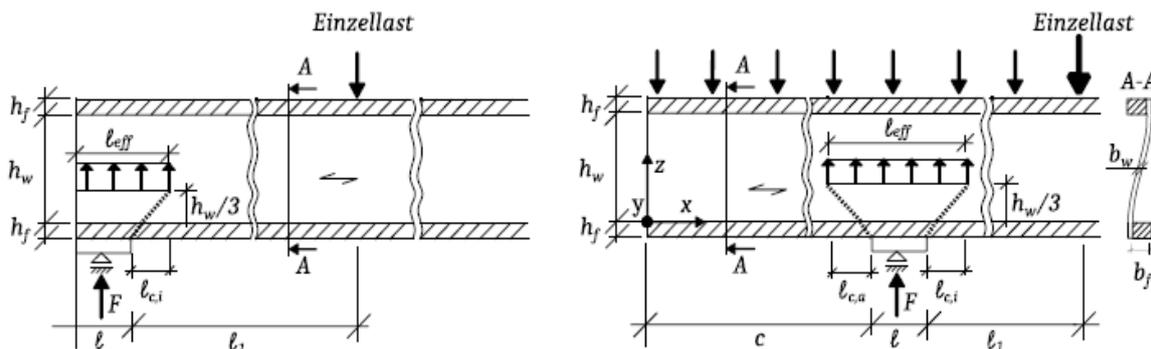


Bild 3.3: Auflagerbemessung

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 Steplatten-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:

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

A₁ bis A₄

last-/überstandsabhängige Koeffizienten

| Auflagertyp | Überstand c | Koeffizienten | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 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

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

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

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

"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 |
| $K(\xi, \bar{\ell})$ $= a_0(\xi) + a_1(\xi) \bar{\ell} + a_2(\xi) \bar{\ell}^2$ mit | dimensionsloser Beulwert |
| $\bar{\ell} = \sqrt[4]{\frac{E_{m,90,w,sec,mean}}{E_{m,0,w,mean}} \cdot \frac{\ell}{L}}$ | 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 Stegpatten-materials 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: $E_{m,90,w,sec,mean} = 0,85 \cdot E_{m,90,w,mean}$ |
| ℓ | 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 5 Seite 1

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

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 Kielstegelemente 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 Kielstegelementen 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 Kielstegelementen 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 Kielstegelementen darf der mittlere Elastizitätsmodul von Gurthölzern aus Vollholz nach EN 14081-1 oder EN 15497 mit dem Faktor 1,04 erhöht werden.

"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:

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

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

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

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

$\ell_{c,a} = \min(30 \text{ mm}; c; \ell) + \frac{h_w}{3} < c$ 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:

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

mit

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

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 Kielstegelemente 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 Kielstegelemente 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 Kielstegelemente 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 Kielstegelemente 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.

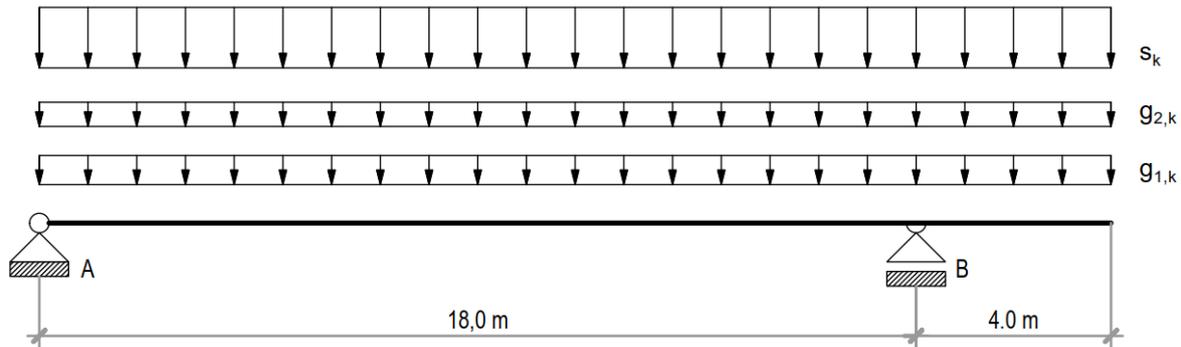
"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6
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.

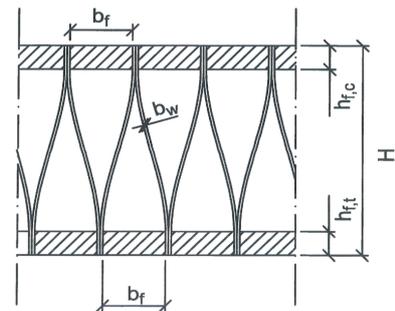
Belastung

| | | |
|----------------------|-----------|------------------------|
| 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)

| | | | |
|-----|-------------------|-------|-------------------|
| C24 | $E_{f,0,mean}$ | 11000 | N/mm ² |
| | $E_{m,90,f,mean}$ | 370 | N/mm ² |
| | $f_{c,0,f,k}$ | 21,0 | N/mm ² |
| | $f_{t,0,f,k}$ | 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 |

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6
Seite 2

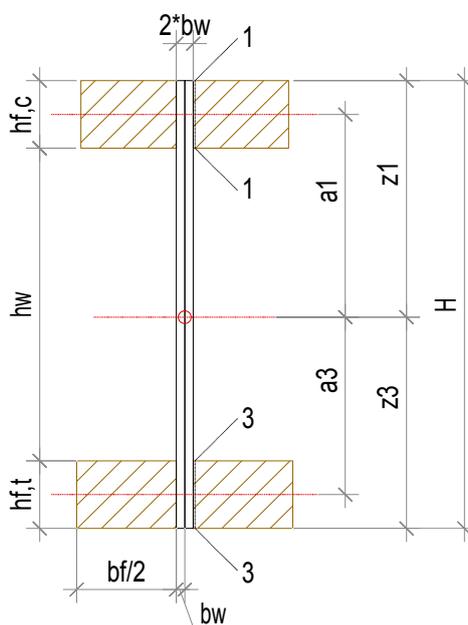
Beispielrechnung (informativ)

Stegmaterial (Index w)

| | | | |
|-------|---|-------|-------------------|
| | $E_{t/c,0,w,mean}$ | 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 |
| OSB/3 | $f_{c,0,w,k}$ | 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

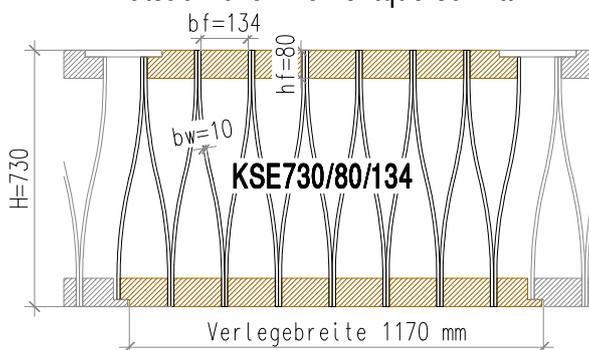
Beispielrechnung (informativ)

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

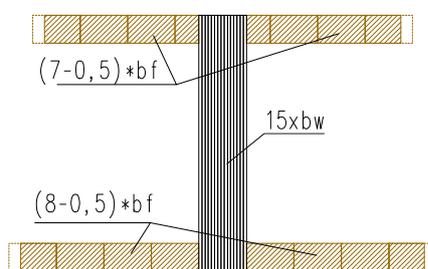
Die Geometrie eines üblichen Kielstegelementes der Breite 1170 mm sowie die Querschnittsschwächung resultierend aus Falzen an den Längskanten werden in diesem Beispiel in Form eines angepassten Nettoquerschnitts berücksichtigt.

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.

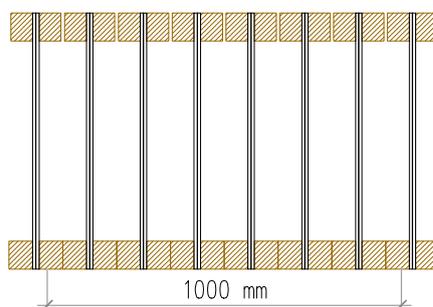
Tatsächlicher Elementquerschnitt



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 | $1,75545 \cdot 10^{10}$ Nmm | $ES_{1,fin}$ |
| Vertikale Klebefuge Gurt/Steg unten | ES_3 | $1,80689 \cdot 10^{10}$ Nmm | $ES_{3,fin}$ | $7,67582 \cdot 10^9$ Nmm |
| Stegschwerpunkt | ES_2 | $2,60891 \cdot 10^{11}$ Nmm | $ES_{3,fin}$ | $1,05252 \cdot 10^{11}$ Nmm |

Auflagerkräfte und Schnittgrößen

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

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

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

| | | 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

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

$k_{c,90} = 1,25$ 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6
Seite 10

Beispielrechnung (informativ)

Kombinierter Biege-Druck-Beulnachweis gemäß Anlage 4

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

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 Vollholzgurtes

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

$k_{c,90} = 1,25$ 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

"Kielsteg-Elemente"

Anhang 6
Seite 13

Beispielrechnung (informativ)

Kombinierter Biege-Druck-Beulnachweis gemäß Anlage 4

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

mit

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

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

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