

# Bachelorarbeit

## I-Joists im Ingenieurholz

### Diskussion der aktuellen Bemessungspraxis und Implementierung in Statiksoftware

Dalel Daleyev

e1328783@student.tuwien.ac.at

Matr.Nr. 01328783

Datum: 08.01.2020

#### Kurzfassung

Finnjoists bzw. I-Joists sind optimierter Verbundträger mit I-Profil aus Holzwerkstoffen, wobei die Gurte aus Furnierschichtholz (LVL) und der Steg aus OSB bestehen. Die Querschnittselemente sind miteinander verklebt. Die Bauteile können als Träger oder Stütze verwendet werden. In dieser Bachelorarbeit wird die vereinfachte Bemessungspraxis der Europäischen Technischen Zulassung ETA 02/0026 auf der Basis von Grenzschnittgrößen mit der allgemeiner gefassten Bemessungspraxis nach ÖNORM B 1995-1-1:2019 auf Basis von Grenzspannungen verglichen und auf Konsistenz der Ergebnisse überprüft. Angesichts der Forderung nach Digitalisierung des Bemessungsprozederes im Rahmen von BIM werden auch Alternativen einer baustatischen Modellbildung und Nachweisführung mittels Statik-Software am Beispiel von RSTAB bzw. RFEM (Software der Fa. Dlubal) aufgezeigt und diskutiert.

#### Vorwort

*Моему дорогому другу, который сделал моё детство самым удивительным временем моей жизни, научил меня любить науки и сделал меня сейчас таким человеком, какой я есть – моему Аташке:*

*На высоте прошедших лет,  
Тебе открылось ещё одно дверце.  
Свеча горела на столе,  
А теперь в моём сердце.*

*Meinem lieben Freund, der meine Kindheit zu der schönsten Zeit meines Lebens gemacht hat, mir die Liebe zu den Wissenschaften mitgegeben hat und auch mich zu dem Menschen gemacht hat, der ich heute bin – meinem Opa:*

*Zum Höhepunkt der vergangenen Jahre,  
Geht noch eine Tür für dich auf.  
Eine Kerze brannte auf dem Tisch,  
Und nun in meinem Herzen.*

## 1 Einleitung

### 1.1 Motivation, aktuelle Bemessungspraxis

Finnjoists sind zur Verwendung als **lastabtragende Bauelemente** bestimmt. Deren bisheriger Einsatz findet sich meist in Geschoßdecken als Ersatz für Vollholzbalken, im Holzriegel- bzw. Holzrahmenbau als Bestandteile sowohl tragender Wände als auch Dächer. Sie bringen somit neben einer optimalen baustatischen Ausnutzung der Materialeigenschaften als I-Hybrid-Querschnitt aus formbeständigen Holzwerkstoffen wesentliche zusätzliche Vorteile im Kontext der Energieeffizienz bei Passivhäusern durch Minimierung von Wärmebrücken. Dank geringer Stegdicken ermöglichen sie sehr gut gedämmte Konstruktionen.

Da noch keine harmonisierte Produktnorm für Finnjoists zur Verfügung steht, sind diese gemäß der **Europäischen Technischen Zulassung** ETA 02/0026 (ETA 2018) [9] zertifiziert. Neben Angaben zur Herstellung und Überwachung enthält dieses Dokument auch Angaben zu verwendeten Werkstoffen, Abmessungen, Toleranzen und charakteristischen mechanischen Eigenschaften in Form von Grenzschnittgrößen für Querschnitte mit standardisierten Abmessungen. In Abstimmung mit den Anforderungen gemäß Eurocode 0 (EC0) [7] basieren die Bestimmungen der ETA 2018 auf einer angenommenen **Nutzungsdauer** der Träger von 50 Jahren. Die Verwendung der Finnjoists ist gemäß Zusammendruck der ÖNORM EN 1995-1-1: 2019 (EC5) [2] mit dem nationalen Anwendungsdokument ÖNORM B 1995-1-1:2019 (ON B 1995) [1], Abschnitt 2.3.1.3 auf die **Nutzungsklassen** 1 und 2 begrenzt. Das unterschiedliche zeitabhängige Verhalten der eingesetzten Materialien wird in ETA 2018 thematisiert, allerdings vereinfacht und in Anlehnung an die ON B 1995 in den Nachweisprozess integriert. Alternativ dazu wird im Rahmen dieser Arbeit ein neues Konzept zur realitätsnäheren Berücksichtigung von Kriechdehnungen vorgestellt.

Die **heutige Bemessungspraxis** von Finnjoists basiert meist auf der Verwendung von Komponentenstatik-Software. Die Integration in Systemstatik-Software ist unterschiedlich und reicht von nur durch Stabsteifigkeiten charakterisierten Balkenachsen hin bis zur Modellbildung als Hybridquerschnitt. Eine vertiefte baustatische Modellbildung als Stab-Flächenmodell ist zwar mit Aufwand verbunden, bietet jedoch die umfangreichsten Möglichkeiten alternativer Nachweisführung.

### 1.2 Anwendungsmöglichkeiten

Das Anwendungsspektrum ist vielfältig und reicht von der Verwendung im Neubau als Tragstruktur bzw. Fassadenbauteilen bis zur Sanierung von Bestandsobjekten z.B. in Form von Dachsparrenverstärkung oder thermischer Fassadensanierung.

Im Neubau werden Finnjoist-Träger demnach wie folgt eingesetzt:

- Als Steher/Rippen in Wandelementen mit Finnjoist-Wandsteher
- Als Deckenbalken in Deckenelementen mit Finnjoist-Balken
- Als Dachsparren in Dachelementen mit Finnjoist-Sparren

Bemessungswerte sind grundsätzlich anwendungsspezifisch zu berechnen und unterscheiden sich z.B. für Decken- oder Dachträger durch unterschiedliche Dauer der Lasteinwirkung sowie Klimabedingungen. Sowohl Grenzschnittgrößen als auch Festigkeitswerte der Holzwerkstoffe gemäß ON B 1995 sind daher stets mit Modifikationsbeiwerten in Abhängigkeit von der Nutzungs-kategorie und der Lasteinwirkungsdauer den projektspezifischen Randbedingungen anzupassen.

## 2 Produktbeschreibung und Holzmechanik

### 2.1 Charakterisierung der Bauteile, Abmessungen

Finnjoists sind I-Träger, deren Gurte aus unidirektionalem Furnierschichtholz (KERTO LVL) gemäß EN 14374 [6] und Stegen aus OSB (Oriented Strand Board, Klasse 3) gemäß EN 300 [8] und EN 12369-1 [4] hergestellt werden. Die Furnierschichten der Gurte liegen rechtwinklig zur Stegebene mit Ausrichtung der Holzfasern parallel zur Stabachse. Die Gurte werden mittels Keilzinnenverbindung zu einem über die gesamte Trägerlänge endlos verlaufenden Strang verbunden. Der Steg besteht aus OSB/3-Platten, wobei die großformatige OSB-Platte an den langen Seiten mit Nut bzw. Feder versehen und anschließend quer zur Deckfurnierrichtung in Streifen geschnitten werden. Die Streifenhöhe bestimmt die spätere Trägerhöhe. Die Hauptrichtung der Strands verläuft somit im rechten Winkel zur Gurt-Längsrichtung. Die Längskanten der Streifen werden gefast. Die Stegstöße quer zur Trägerachse sind gemäß ETA 2018 als V-förmige Verbindung auszuführen, zu verkleben und dürfen grundsätzlich an beliebigen Stellen angeordnet werden. Die Klebstoffe müssen gemäß ETA 2018 Klebstoffe des Typs 1 sein.

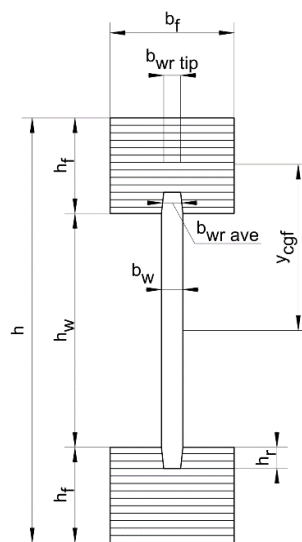


Abb. 1: Querschnitt Finnjoist I-Träger, Quelle: ETA 2018.

In **Abb. 1** ist der Querschnitt eines Finnjoist-Trägers dargestellt. Der Nennwinkel der Steg-Anschlussfuge im Gurt beträgt  $6^\circ$ , wobei etwas Platz in der Spitze der Fuge zur Aufnahme des überschüssigen Klebers und Sicherstellung der Keilwirkung beim Verpressen der Klebefugen vorgesehen ist. Die **Höhe des Trägers** variiert zwischen 160 mm und 600 mm. Die **Stegdicke** beträgt 10 mm bis 12 mm. Die **Gurtbreite** reicht von 38 mm bis 96 mm mit zugehörigen **Gurthöhen** von 36 bis 45 mm. Die **Herstellungstoleranzen** gemäß ETA 2018 sind für ein Referenzklima von 65% Luftfeuchte und  $20^\circ$  Bauteiltemperatur angegeben. Jeder Querschnitt wird mit einer **Kennzahl** wie z.B. FJI 58/240-36 bezeichnet. Die erste Zahl beschreibt die Gurtbreite, die zweite Zahl die Trägerhöhe und die dritte Zahl die Höhe des Gurtes.

In den Trägern sind System-**Steglöcher mit einem Durchmesser von 38 mm** angebracht. Der Abstand zwischen den Lochmittelpunkten beträgt 300 mm. Der Verwendungszweck der System-Steglöcher ist allerdings in der ETA 2018 nicht näher beschrieben.

Bei baupraktischen Anwendungen mit Einleitung konzentrierter Lasten wie z.B. bei Auflager oder Anschlüssen am Stabende mittels spezieller Blechformteile sind die dünnen Stege gemäß ETA 2018 zusätzlich lokal zu stabilisieren. Diese Verstärkungen sind gemäß ETA 2018 aus LVL-Platten herzustellen und mit 5 mm Abstand vom Obergurt senkrecht zum Steg miteinander zu verschrauben.

## 2.2 Materialkennwerte und Konsequenzen für die Bemessung

### 2.2.1 Materialkennwerte

Die Beschreibung der Trägerkomponenten mittels charakteristischer Festigkeitswerte ist in der ETA 2018 enthalten. In der **Tab. 1** sind die, für die baupraktische Bemessung benötigten charakteristischen Steifigkeits- und Festigkeitswerte gem. ETA 2018 ersichtlich und ergänzt mit Vergleichswerten aus den zugehörigen Produktnormen.

Bauphysikalische Kennwerte der FJI-Holzmaterialien z.B. zwecks Nachweises von Wärmebrücken sind im Abschnitt 3.4 der Europäischen Technischen Zulassung zu finden. Der in ETA 2018 angegebene Wert der Wärmeleitfähigkeit der beiden Holzwerkstoffen beträgt  $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$  in Übereinstimmung mit der EN 12524 [5], allerdings mit Verweis auf geringfügige Variabilität dieser Werte. Weitere bauphysikalische Kennwerte von Furnierschichtholz bzw. OSB/3 sind auch in ÖN B 8110-7 [3] im Abschnitt 6.7 zu finden.

**Tab. 1:** Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitswerte gemäß ETA 2018 und Produktnormen

Eigenschaft	Symbol	Wert aus ETA	Wert aus Produktnormen
Biegefestigkeit der Gurte	$f_{mk}$	38,40 N/mm <sup>2</sup>	38,00 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit der Gurte	$f_{t0k}$	28,00 N/mm <sup>2</sup>	24,00 N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit der Gurte	$f_{c0k}$	<b>28,00 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>34,00 N/mm<sup>2</sup></b>
Biegefestigkeit des Steges (Scheibenwirkung)	$f_{mk,w}$	7,20 N/mm <sup>2</sup>	7,20 N/mm <sup>2</sup>
Abscheren rechtwinklig zur Stegebene	$f_{vsk}$	6,80 N/mm <sup>2</sup>	6,80 N/mm <sup>2</sup>
Abscheren in der Klebefuge (Steg zu Gurt)	$f_{vpk}$	2,40 N/mm <sup>2</sup>	1,00 N/mm <sup>2</sup>
Char. E-Modul der Gurte (5%-Fraktile)	$E_k$	<b>11600 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>9000 N/mm<sup>2</sup></b>
Mittlerer E-Modul der Gurte	$E_f$	<b>13800 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>10600 N/mm<sup>2</sup></b>
Mittlerer E-Modul des Steges	$E_w$	3000 N/mm <sup>2</sup>	3000 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul des Steges (In der Scheibenebene)	$G_w$	1080 N/mm <sup>2</sup>	1080 N/mm <sup>2</sup>

Die in **Tab. 1** angegebenen Kennwerte sind allerdings für eine baustatische Bemessung noch nicht ausreichend. Da der Schubmodul von LVL-Gurten in der Zulassung nicht angegeben ist, muss diese Eigenschaft aus Produktnormen entnommen werden. Die Hintergründe zur Erhöhung bzw. Reduktion mancher Festigkeits- sowie Steifigkeitswerten gemäß ETA 2018 sind in der Zulassung nicht explizit angegeben. Als mögliche Ursache wäre sicherlich der Abgleich von Ergebnissen aus Bauteilversuchen mit zugehörigen, zurückgerechneten lokalen Spannungen zu identifizieren.

Die in der ETA 2018 angegebenen **Modifikations-** und **Kriechbeiwerte** entsprechen prinzipiell den Werten aus der ÖN B 1995 und sind in **Tab. 2**, bzw. in **Tab. 3** dargestellt.

**Tab. 2:** Modifikationsbeiwerte  $k_{mod}$  in Abhängigkeit von der Klasse der Lasteinwirkungsdauer, der Nutzungsklasse sowie vom Holzwerkstoff gemäß ÖN B 1995

KLED	LVL		OSB/3	
	NKL 1	NKL 2	NKL 1	NKL 2
Ständig	0,60	0,60	0,40	0,30
Lang	0,70	0,70	0,50	0,40
Mittel	0,80	0,80	0,70	0,55
Kurz	0,90	0,90	0,90	0,70
Sehr kurz	1,10	1,10	1,10	0,90

Die in **Tab. 2** angegebenen Modifikationsbeiwerte  $k_{mod}$  bzw. in **Tab. 3** angegebenen Kriechbeiwerte  $k_{def}$  der beiden Holzmaterialien unterstreichen bereits den signifikant

produktspezifischen Einfluss auf das Tragverhalten in Abhängigkeit vom Umgebungsklima und der Lasteinwirkungsdauer.

**Tab. 3:** Kriechbeiwert  $k_{def}$  in Abhängigkeit von der Nutzungsklasse und dem Holzwerkstoff gemäß ÖN B 1995

LVL		OSB/3	
NKL 1	NKL 2	NKL 1	NKL 2
0,60	0,80	1,50	2,25

Gemäß ETA 2018 erfolgt das Anwenden dieser Beiwerte jedoch pauschal auf Grenzschnittgrößen bzw. Stabsteifigkeiten in Abhängigkeit von zugeordneten dominanten Schrittgrößen. Die Konsequenzen dieser Vereinfachungen und somit Abweichungen zur ON B 1995 werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit noch diskutiert (Details siehe Kapitel 4.1).

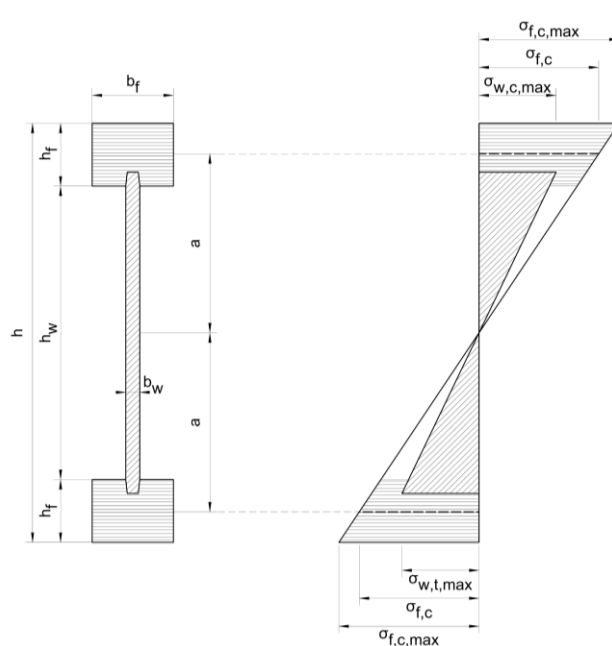
### 2.2.2 Konsequenzen für die baustatische Modellbildung und Bemessung

Die unterschiedliche Charakteristik der verwendeten Baustoffe verweist bereits auf die Notwendigkeit einer baustatischen Modellbildung als Hybridquerschnitt. **Zusammengesetzte Querschnitte** (= Hybridquerschnitte) bestehen in der Regel sowohl aus mehreren Einzelquerschnitten als auch unterschiedlichen Materialien, die entweder starr durch Verklebung oder nachgiebig mittels mechanischer Verbindungsmittel wie Dübel besonderer Bauart, Stabdübel, Passbolzen, Nägel oder Klammern miteinander verbunden sein können. Im Falle der Finnjoists-Träger spricht man angesichts der Verklebung vom „starreren“ Verbund.

Die Biegesteifigkeit für symmetrische Hybridquerschnitte lässt sich nach der Formel (1) ermitteln.  $I_w$ , bzw.  $I_f$  bedeutet Flächenträgheitsmoment vom Steg, bzw. vom Gurt.

$$EI_{eff} = E_w \cdot I_w + 2 \cdot E_f \cdot (I_f + A_f \cdot a^2) \quad (1)$$

Die baustatische Modellbildung als **Hybridquerschnitte** ist gleichwertig der **Laminattheorie**. Auf Grund des „monolithischen“ Verhaltens des starren Verbunds darf eine geradlinige Dehnungsverteilung über die Querschnittshöhe angenommen werden. Somit ergibt sich die, in **Abb. 2** dargestellte Spannungsverteilung im Querschnitt.



Spannungen werden wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{f,c(t),max} = \pm \frac{M_{Ed}}{EI_{eff}} \cdot (E_f \cdot h/2)$$

$$\sigma_{f,c(t)} = \pm \frac{M_{Ed}}{EI_{eff}} \cdot (E_f \cdot a)$$

$$\sigma_{w,c(t),max} = \pm \frac{M_{Ed}}{EI_{eff}} \cdot (E_w \cdot h_w/2)$$

Längsspannungsnachweise nach EC5 sind erfüllt, wenn:

$$|\sigma_{f,c(t),max}| \leq f_{m,d} = k_{mod,LVL} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,LVL}}$$

$$|\sigma_{f,c(t)}| \leq f_{c(t),0,d} = k_{mod,LVL} \cdot \frac{f_{c(t),0,k}}{\gamma_{M,LVL}}$$

$$|\sigma_{w,c(t),max}| \leq f_{c(t),d} = k_{mod,OSB} \cdot \frac{f_{c(t),90,k}}{\gamma_{M,OSB}}$$

**Abb. 2:** Resultierende Spannungsverteilung über die Querschnittshöhe basierend auf der Annahme einer geradlinigen Dehnungsverteilung und unterschiedlicher Materialsteifigkeiten.

Für den **Sonderfall einer Torsion** sind folgende Näherungen zutreffend: Die bei Torsionsbeanspruchung auftretenden Schubspannungen  $\tau_{\text{tor}}$  dürfen näherungsweise nach der Elastizitätstheorie berechnet werden (Saint-Venant'sche Torsion). Für einen zusammengesetzten symmetrischen FJI-Querschnitt lässt sich somit die Torsionssteifigkeit des gesamten Trägers nach Formel (2) ermitteln. Hier bedeutet  $G_{\text{OSB}}$  das Schubmodul vom OSB/3 in der Scheibenebene.

$$GI_{\text{tor,ges}} = 2 \cdot G_{\text{LVL}} \cdot I_{\text{tor,Gurt}} + G_{\text{OSB}} \cdot I_{\text{tor,Steg}} \quad (2)$$

Der in der **Tab. 3** erkennbare signifikante Unterschied der Kriechbeiwerte ist ebenso zu berücksichtigen, wobei mit Auswirkungen von Kriechverformungen sowohl auf der Ebene von Systemverformungen als auch bei der Tragfähigkeit durch zusätzliche Eigenspannungen aus Spannungsumlagerung zufolge Kriechen zu rechnen ist. In Übereinstimmung mit der Praxis in ON B 1995 wird allerdings der Einfluss von Kriechen auf die Tragfähigkeit vernachlässigt.

### 3 Methodische Ansätze zur Nachweisführung

#### 3.1 Konzept gemäß ETA 2018 auf der Basis von Grenzschnittgrößen

Gemäß aktueller Bemessungspraxis nach ETA 2018 werden nur Querschnittsnachweise mittels Grenzschnittgrößen, tabellarisch angegeben für bestimmte Standardquerschnitte geführt. Bei Auswahl eines Querschnittes, welcher im Querschnittdatenbank nicht erfasst ist, dürfen die Werte gemäß ETA 2018 linear interpoliert werden. Die Querschnitte und deren charakteristischen Grenzschnittgrößen sind in der Tabelle 2-4 der Europäischen Technischen Zulassung ETA 2018 angegeben. Die Bemessungsschnittgrößen werden durch die Multiplikation des charakteristischen Wertes der Schnittgröße mit dem zugehörigen Modifikationsbeiwert und durch die Division mit dem Materialbeiwert, welcher sowohl für LVL als auch für OSB/3 gleich groß ist mit  $\gamma_M = 1,2$ , anzunehmen ist, berechnet.

Als erste wesentliche **Abweichung zur ON B 1995** empfiehlt die ETA 2018, den Modifikationsbeiwert  $k_{\text{mod}}$ , nicht spannungsspezifisch zu nehmen, sondern in Abhängigkeit der Nachweisart. Beim Biegenachweis des Trägers sind z.B. die Werte des Bemessungswiderstandes (= Grenzmoment) mit den Modifikationsbeiwerten für LVL gemäß **Tab. 2** zu multiplizieren. Für den Schubnachweis erfolgt die Multiplikation des Wertes der Grenzquerkraft mit den Modifikationsbeiwerten für OSB/3. Die Folgen dieser groben Annahme werden im weiteren Verlauf dieser Bachelorarbeit noch diskutiert.

$$E_d \leq R_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (3)$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit von FJI-Träger gemäß ETA 2018 wird in allgemeiner Form lt. Gl. (3) durch den Vergleich des Bemessungswertes der Einwirkung  $E_d$  mit dem Bemessungswert der Grenzschnittgröße  $R_d$  geführt. Trotz Verweises der ETA 2018 auf die Ermittlung der Werte der Grenzbiegemomente ohne Berücksichtigung des Einflusses der Querkraft ist immer noch nicht der Beweis erbracht, dass möglicherweise nicht doch eine Interaktion dieser Grenzschnittgrößen zu berücksichtigen wäre. Gemäß ETA 2018 ist das baustatische Verhalten des Biegeträgers an die Existenz einer ausreichenden **seitlichen Abstützung des Druckgurtes** gekoppelt. Immerhin ist bei den in der ETA 2018 angegebenen charakteristischen Querkraftwiderstände der Einfluss der Systemlöcher bereits berücksichtigt.

Mittels der in Tabelle 2-4 der Europäischen Technischen Zulassung ETA 2018 ebenfalls angegebenen **Biege- und Schubsteifigkeiten** kann man  $w_{\text{inst}}$  (= elastische Anfangsdurchbiegung) des Trägers ermitteln. Für die Berechnung von  $w_{\text{fin}}$  (=Durchbiegung im Endzustand inklusive der Verformungen aus Kriechen) sind die in Tabelle 2-4 von ETA 2018 angegebenen Deformationsbeiwerte  $k_{\text{def}}$  gemäß **Tab. 3** zu verwenden. Die technische Zulassung empfiehlt jedoch den Deformationsbeiwert  $k_{\text{def}}$  wieder nicht werkstoffspezifisch zu wählen, sondern nach der zugehörigen

dominanten Schnittgröße. Für Biege- und Normalkraftverformung sollten gemäß ETA 2018 die  $k_{\text{der}}$ -Beiwerte von LVL für die Schubverformung die Deformationsbeiwerte für OSB verwendet werden. Somit wird der Einfluss vom Kriechen nur in Bezug auf die Verformungen berücksichtigt, nicht jedoch im Kontext von Spannungsumlagerung aus Kriechen im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

Weitere Angaben zu den aufnehmbaren Auflagerkräften bei **End- bzw. Mittelaufleger** sind in Abhängigkeit von der Größe des Gurtes, Auflagerbreite, sowie Vorhandensein einer Auflagersteife in der Tabelle 2-4d der ETA 2018 angegeben. Die prinzipielle Ermittlung des Designwertes des End- bzw. Mittelauflegerwiderstandes erfolgt ebenfalls gemäß Formel (3), wobei ausschließlich der  $k_{\text{mod}}$ -Beiwert für Furnierschichtholz zu verwenden ist. In diesem Fall bleibt unklar, ob der Widerstandswert neben der Querpressung am Auflager auch zusätzlich durch induzierte Schubspannungen in der Klebefuge oder mögliche Stabilitätsgefährdungen des Steges, bzw. des Druckgurtes auf der Unterseite bei Mittelaufleger (s.a. Kapitel 6, auf Seite 22) beeinflusst wird.

Eine vereinfachte **Nachweisführung für Durchbrüche** in Form einer reduzierten Tragfähigkeit auf Querkraft ist im Annex 3 der ETA 2018 angegeben und im Kapitel 5 beschrieben.

## 3.2 Nachweisführung gemäß ON B 1995 auf der Basis von Spannungsnachweisen

### 3.2.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Nachweise für geklebte Biegestäbe mit schmalen Stegen sind gemäß ON B 1995, Abschnitt 9.1.1 zu führen. Die nach Kategorien gegliederten Bemessungswerte dürfen keinesfalls die Grenzwerte der auftretenden Spannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit überschreiten.

- Längsspannungsnachweise mit Verteilung gemäß **Abb. 2**
  - \*  $\sigma_{f,c,\text{max},d}$  Bemessungswert der Biegefestigkeit im Druckgurt
  - \*  $\sigma_{f,t,\text{max},d}$  Bemessungswert der Biegefestigkeit im Zuggurt
  - \*  $\sigma_{f,c,d}$  Bemessungswert der Schwerpunktspannung im Druckgurt
  - \*  $\sigma_{f,t,d}$  Bemessungswert der Schwerpunktspannung im Zuggurt
  - \*  $\sigma_{w,c(t),90,d}$  Bemessungswert der Normalkraftfestigkeit quer zur Deckfurnierrichtung des Steges
- Schubspannungsnachweise
  - \*  $\tau_{\text{mean},d}$  Bemessungswert der Schubspannung in der Klebefuge
  - \*  $\tau_{v,d}$  Bemessungswert der Schubspannung im Querschnittsschwerpunkt

Zusätzlich ist die **Stabilität des Steges** gegenüber Beulen, induziert durch Normal- bzw. Schubspannungen sicherzustellen.

Der **Nachweis der Auflagerpressung** ist nach ON B 1995, Abschnitt 6.1.5 zu führen in Abhängigkeit nicht nur von der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung des Gurtes, sondern auch von der wirksamen Kontaktfläche sowie dem Beiwert  $k_{c,90}$  abhängig. Da die Norm die Anwendung dieser Nachweiskette nur auf die Rechteckquerschnitte vom Voll-, bzw. Brettschichtholz aus Nadelholz beschränkt, ist die Anwendung dieser Nachweiskette bei symmetrischen I-Hybrid-Querschnitten mit dünnen Stegen nicht vollständig, da z.B. zusätzlich auch Annahmen bezüglich der Lastausbreitung für den Nachweis der Klebeverbindung zwischen Gurt und Steg getroffen werden müssten.

Der Einzelnachweis der **Schwerpunktspannungen im Druckgurt** wird auch als Nachweis gegen **Biegedrillknicken** des Trägers in Form eines vereinfachten Knicknachweis interpretiert, wobei die Knicklänge als der Abstand zwischen der seitlichen Haltung des Trägers angenommen werden darf. Somit sollte der Knickbeiwert  $k_c$  gemäß Ersatzstabverfahren mit berücksichtigt werden, solange keine ausreichende seitliche Kipphaltung des Trägers gegeben ist.

Grundsätzlich wäre heterogenes Kriechverhalten bei Hybridquerschnitten im Grenzzustand der Tragfähigkeit zum Zeitpunkt  $t=\infty$  zu berücksichtigen, wobei auch Spannungsumlagerungen über die Querschnittshöhe infolge von Kriechverformungen nicht vernachlässigt werden sollten.

Die ON B 1995 schlägt vereinfachend vor, die Steifigkeiten der einzelnen Holzwerkstoffe gemäß Formeln (4) und (5) in Form der Finalwerten der Steifigkeit abzumindern und damit Spannungsnachweise zu führen .

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})} \quad (4)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})} \quad (5)$$

Gemäß ON B 1995 ist der Beiwert  $\psi_2$  näherungsweise für Lastfallkombinationen mit dem Beiwert für den quasi-ständigen Anteil jener Einwirkung, zu wählen die die größte Spannung im Verhältnis zur Festigkeit hervorruft, wobei im Fall von ständigen Einwirkung  $\psi_2 = 1$  gesetzt werden sollte.

### 3.2.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit Kriechen gemäß EC5

*Die Verformungen eines Tragwerks (Konstruktion) müssen in angemessenen Grenzen bleiben, um die Benutzbarkeit sicherzustellen, sowie Schäden an nachgeordneten Bauteilen und optische Beeinträchtigungen (des Erscheinungsbildes) des Tragwerks zu vermeiden. Im Holzbau sind im Allgemeinen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zwei Kombinationen von Einwirkungen zu berücksichtigen, die charakteristische und quasi-ständige Kombination [Neuhaus (2017)] [11]. Der Einfluss des Kriechens auf die Verformung des Trägers wird grundsätzlich durch die Integration der Deformationsbeiwerte  $k_{\text{def}}$  berücksichtigt.*

**Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit** zum Zeitpunkt  $t = \infty$  erfolgt zur Berechnung der Systemverformungen  $w_{\text{fin}}$  die Abminderung der Steifigkeiten gemäß Gl. (6) und (7) zwecks Ermittlung der Langzeitverformungen für den Fall der quasi-ständigen Kombination von Einwirkungen. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit hat das Kriechen gemäß ON B 1995 also nur Einfluss auf die Systemverformungen.

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (6)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (7)$$

### 3.2.3 Alternative Berücksichtigung von Kriechen mittels eingepprägter Kriechdehnungen

Als Alternative zur Integration des Einflusses von Kriechen auf die Querschnittstragfähigkeit wird nachstehend die Bemessungsmethode mittels eingepprägter Dehnungen bei Hybridquerschnitten erläutert. Dieses alternative Konzept ist in der Lage, die Auswirkung von Kriechen nicht nur auf Systemverformungen, sondern auch auf Spannungsumlagerung im Querschnitt zu berücksichtigen.

Dabei werden lokal und getrennt für jeden Werkstoff die  **$k_{\text{def}}$ -fachen elastischen Dehnungen aus nur ständigen Lastanteilen** ( $\varepsilon_{\text{el,ständig}} \cdot k_{\text{def}}$ ) als Anfangsdehnungen – analog zu Temperaturdehnungen - eingepprägt. Die daraus resultierenden Eigenspannungen  $\sigma^e$  kann man als Konsequenz einer Spannungsumlagerung infolge von Kriechen betrachten. Da es sich um einen Eigenspannungszustand handelt, müssen die zugehörigen Schnittgrößen gleich null sein. Erst mit der Überlagerung von Spannungen aus äußerer Einwirkung wie z.B. dem Bemessungsmoment  $M_{y,Ed}$  ergeben sich die resultierenden Längsspannungen zum Zeitpunkt  $t = \infty$ .

Die finalen Biege- und Normalspannungen im Querschnitt zum Zeitpunkt  $t = \infty$  sind also nach Formel (8) zu überlagern. Analoge Überlegungen gelten auch für den Nachweis der Schubspannungen.



$$\sigma_{\text{fin}} = \sigma_{\text{inst}} + \sigma^e \quad (8)$$

Hier bedeutet  $\sigma_{\text{inst}}$  eine elastische Spannung im Querschnitt, welche zum Zeitpunkt  $t=0$  mit erstmaligem Aufbringen aller äußeren Lasten auftritt.  $\sigma^e$  bedeutet die induzierten Eigenspannungen, welche durch heterogenes zeitabhängiges Materialverhalten verursacht werden.

Um die Größe der Eigenspannungen ermitteln zu können, benötigt man für den Falle einer Biegebeanspruchung des Trägers folgende Einwirkungsmomente:

- $M_{y,\text{Ed},\text{kdef}}$  – jenes Biegemoment, welches entsteht, wenn die Spannungen bzw. Schnittgrößen nur aus ständigen Lastanteilen mit den Deformationsbeiwerten werkstoffspezifisch getrennt modifiziert werden (siehe **Abb. 4**).
- $M_{y,\text{Ed},1}$  – das elastische Biegemoment, dessen Größe 1,00 beträgt (siehe **Abb. 5**,  $M_{y,\text{Ed},1} = 1$ )

Für einen Eigenspannungszustand charakteristisch ist der Umstand, dass das äußere Moment gleich Null ist und somit folgende Bedingung erfüllt sein muss:

$$M_{\text{Ed},\text{kdef}} + \kappa \cdot M_{\text{Ed},1} = 0 \text{ mit } M_{\text{Ed},1} = 1,00 \quad (9)$$

Daraus folgt, dass:

$$\kappa = -M_{\text{Ed},\text{kdef}}/M_{\text{Ed},1} = -M_{\text{Ed},\text{kdef}}/1,00 \quad (10)$$

$\kappa$  als zwischenzeitlich berechnete eingeprägte Krümmung aus Kriechen zufolge skalierter eingepprägter Dehnungen  $\varepsilon \cdot k_{\text{def}}$  wird sowohl zur Berechnung der Systemverformung als auch der Spannungsumlagerungen verwendet.

Ein, auf einen Gesamtquerschnitt global wirksames Biegemoment (= Schnittgröße) kann auch in Teilschnittgrößen  $N_{f,\text{Ed}}$ ,  $M_{f,\text{Ed}}$  sowie  $M_{w,\text{Ed}}$  in Form von Gurtnormalkraft, Gurtbiegemoment sowie Stegbiegemoment zerlegt werden. Um die Gleichgewichtsbedingung zu erfüllen, muss für symmetrische I-Querschnitte folgende Gleichung gelten:

$$M_{\text{Ed}} = M_w + 2 \cdot a \cdot N_f + 2 \cdot M_f \quad (11)$$

Die infolge eingepprägter Kriechdehnung auftretenden, auf die Querschnittsteile aufgeteilte Schnittgrößen  $N_{f,\text{Ed}}^e$ ,  $M_{f,\text{Ed}}^e$ , sowie  $M_{w,\text{Ed}}^e$  des Eigenspannungszustandes lassen sich gemäß nachstehender Formeln ermitteln.

$$N_{f,\text{Ed}}^e = -N_{f,\text{Ed},1} \cdot \kappa - N_{f,\text{Ed},\text{kdef}} \quad (12)$$

$$M_{f,\text{Ed}}^e = -M_{f,\text{Ed},1} \cdot \kappa - M_{f,\text{Ed},\text{kdef}} \quad (13)$$

$$M_{w,\text{Ed}}^e = -M_{w,\text{Ed},1} \cdot \kappa - M_{w,\text{Ed},\text{kdef}} \quad (14)$$

Trotz Existenz von Schnittgrößen für Teilquerschnitte zufolge Kriechens muss die daraus resultierende Schnittgröße gemäß Formel (15) gleich Null sein:

$$M_{\text{Ed}}^e = M_{w,\text{Ed}}^e + 2 \cdot a \cdot N_{f,\text{Ed}}^e + 2 \cdot M_{f,\text{Ed}}^e = 0 \quad (15)$$

Die dem Eigenspannungszustand zuzuordnenden Spannungen lassen sich gemäß **Formeln (16), (17) und (18)** ermitteln.  $A_f$  steht für Gurtfläche und  $W_{f,o}$  deutet auf einen Widerstandsmoment des Gurtes, bezogen auf den vom Querschnittschwerpunkt am weitesten entfernten Punkt.

$$\sigma_{f,c(t)}^e = \frac{|N_{f,\text{Ed}}^e|}{A_f} \quad (16)$$

$$\sigma_{f,c(t),\text{max}}^e = \frac{|N_{f,\text{Ed}}^e|}{A_f} + \frac{|M_{f,\text{Ed}}^e|}{W_{f,o}} \quad (17)$$

$$\sigma_{w,c(t),\text{max}}^e = \frac{|M_{w,\text{Ed}}^e|}{W_w} \quad (18)$$

Die Ermittlung der Spannungen zum Zeitpunkt  $t=\infty$  richtet sich nach (8).

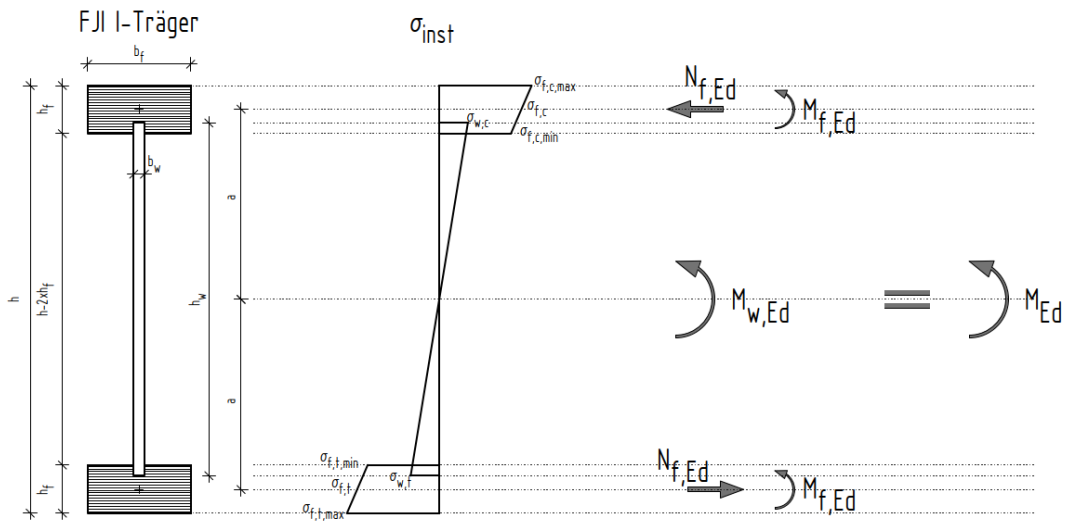


Abb. 3: Elastische Spannungen und Schnittgrößen zufolge  $M_{Ed}$  zum Zeitpunkt  $t=0$ .

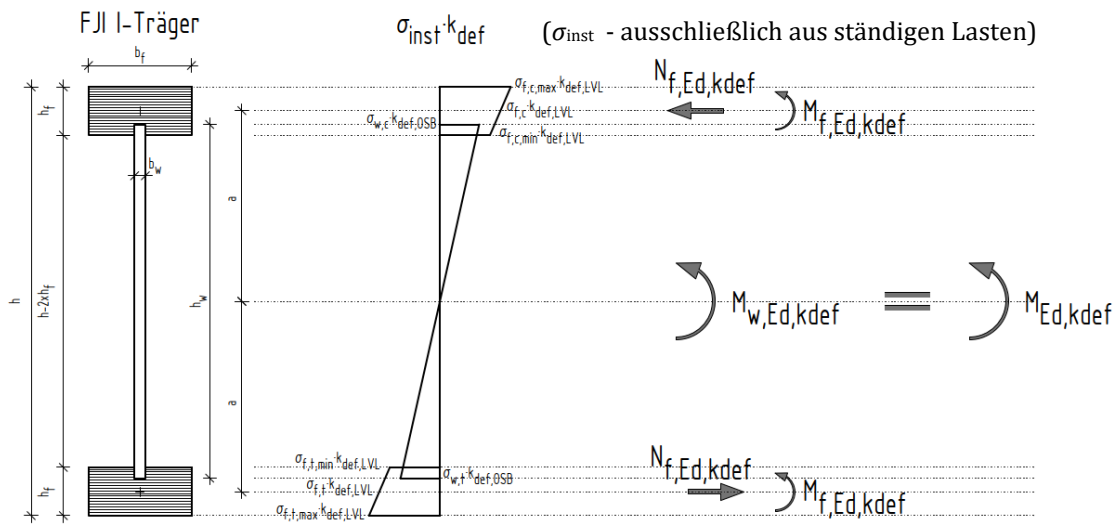


Abb. 4: Induzierte Schnittgrößen und Spannung im Querschnitt zur Berechnung von  $M_{Ed,kdef}$ .

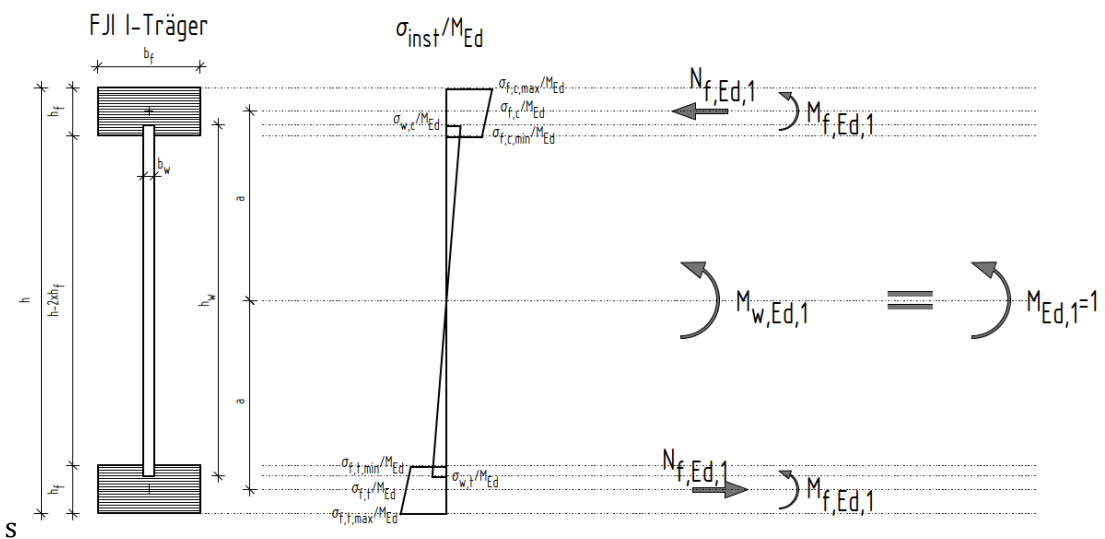


Abb. 5: Schnittgrößen und Spannung im Querschnitt für ein rechnerisches Biegemoment  $M_{Ed,1}=1,00$ .

### 3.3 Nachweisführung mittels Statik-Software

In diesem Kapitel werden sowohl Modellbildungen als auch Nachweisstrategien exemplarisch am Beispiel zweier Softwarepakete näher erläutert:

- Komponentenstatik-Software der Fa. MetsäWood als Produkthersteller
- Systemstatik-Software der Firma Dlubal als Softwarehersteller
  - Optionale Nachweise mittels RF-LIMITS nach dem Konzept der Grenzschnittgrößen
  - Optionale Nachweise mittels RF-HOLZ Pro nach dem Konzept der Grenzspannungen als Hybridquerschnitt
  - Optionale Nachweisführung als kombiniertes Stab-Flächenmodell im RFEM nach dem Konzept der Grenzspannungen

#### 3.3.1 Herstellersoftware der Fa. MetsäWood „FINNWOOD® 2.4.2“

Das Bemessungsprogramm ist kostenlos von der Homepage der Fa. MetsäWood herunterzuladen. Neben Finnjoists-Träger können damit - in Abhängigkeit von deren Anwendung als Decken-, Dach- oder Wandbauteilen - natürlich auch andere Produkte der Fa. MetsäWood bemessen werden.

Das Programm verfügt über eine vordefinierte **Querschnittsdatenbank**. Statische Systeme können somit nach Eingabe aller geometrischen Tragwerksdaten (= Spannweite, Kipphalteabstände des Obergurtes und Auflagerlängen) sowie Belastungen und Definition der Nutzungsklasse hinsichtlich **Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit** inklusive einer **Schwingungsanalyse** untersucht werden. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit gibt es nur die Möglichkeit zur Kaltbemessung des Trägers. Für den Brandfall wird angenommen, dass die dünnwandigen Bauteile durch eine entsprechende Bekleidung vor Wärmeeinwirkung und Abbrand gesichert sind.

In Abstimmung mit den Vorgaben der ETA 2018 werden die Schnittgrößen bzw. Auflagerkräfte mit den Grenzwerten für Schnittgrößen bzw. aufnehmbaren Auflagerkräften verglichen. Die Ergebnisse werden als Ausnutzungsgrade gezeigt.

Es besteht auch die Möglichkeit, Durchbrüche im Träger – ebenfalls nach dem Konzept der ETA 2018 - zuzulassen (nähere Details siehe Abschnitt 5.1).

#### 3.3.2 Nachweise mittels des Zusatzmoduls RF-LIMITS

Sowohl in RSTAB als auch RFEM besteht die Möglichkeit, bestehende Stäbe, bzw. Tragwerke nach dem Konzept von Grenzschnittgrößen für vordefinierten Lasten bzw. Lastkombination mithilfe des **Zusatzmoduls RF-LIMITS** zu untersuchen.

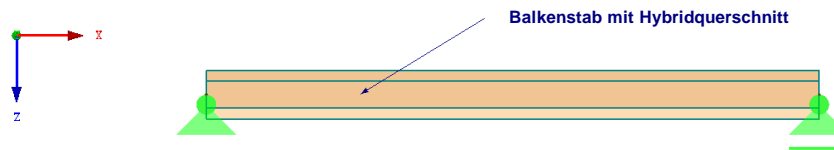
Nach der Festlegung von Nutzungsklasse und Klasse der Lasteinwirkungsdauer erfolgt der Vergleich der maßgebenden Schnittgrößen mit Einträgen in der Datenbank, wobei für Finnjoists Grenzwerte für Biegemoment, Querkraft sowie den Auflagerwiderstand in Abhängigkeit von der Auflagerbreite hinterlegt sind.

Grenzschnittgrößen sowie Nachweisconcept entsprechen der ETA 2018, womit ebenfalls keine Interaktionen zwischen Grenzschnittgrößen geführt werden. Es wird in RF-LIMITS auch nicht darauf hingewiesen, dass die Grenzschnittgrößen auf der Annahme genügender seitlicher Abstützung des Druckgurtes unter Ausschluss von Stabilitätsgefährdung beruhen. Die Bemessung beschränkt sich auf nur ebene Systeme, womit eine Belastung von Doppelbiegung ausgeschlossen ist.

#### 3.3.3 Nachweise mittels des Zusatzmoduls RF-HOLZ Pro

RSTAB und RFEM bieten die Möglichkeit, einen Balken als **Hybridquerschnitt zu modellieren** und mithilfe des Zusatzmoduls RF-HOLZ Pro die Spannungsnachweise gemäß ON B 1995 zu führen. Die vorhandene Orthotropie der Holzwerkstoffen wird somit für einen Stab mit dem

Hybridquerschnitt auf eine lineare eindimensionale Isotropie vereinfacht. Eine exemplarische Darstellung des Trägers im Rendering-Modus der Software ist in **Abb. 6** zu finden.



**Abb. 6:** Exemplarische Darstellung der Modellierung eines FJI-Trägers als Hybridquerschnitt in RFEM.

Die im Zusatzmodul RF-HOLZ Pro benötigten Inputdaten umfassen die Lasteinwirkungsdauer, die Nutzungsklasse, die effektiven Spannweiten und die **Knicklängenparameter der Stäbe**. Potentielles Ausknicken des Steges aus der Trägerebene wird somit nicht betrachtet. Bei Bedarf könnten Materialkennwerte aus Bibliotheken auch manuell modifiziert werden.

Obwohl im Zusatzmodul RF-HOLZ Pro die Option besteht, die **Materialsteifigkeiten gemäß (4), bzw. (5) abzumindern** und somit die Nachweise sowohl im Zeitpunkt  $t=0$  als auch  $t=\infty$  gemäß ON B 1995 zu führen, ist **diese Funktion für Hybridquerschnitte nicht anwendbar**.

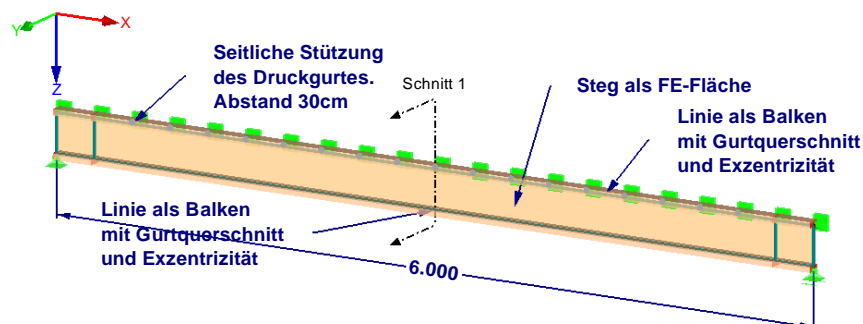
Die Berücksichtigung der **Schubnachgiebigkeit bei einem Hybridquerschnitt** ist leider auch ausnahmslos nicht möglich. Ebenso bleibt die Spannungsumlagerung zufolge des Kriechens unberücksichtigt.

Im Rahmen der Funktionalität der Basissoftware können die Materialsteifigkeiten jedoch über die Zusatzoptionen materialspezifisch modifiziert und somit durch den Faktor  $1/(1 + \psi_2 \cdot k_{def})$  nach ON B 1995 abgemindert werden. Diese Modifikation wird aber im Zusatzmodul RF-HOLZ Pro nicht berücksichtigt, da die Materialkennwerte über dazugehörigen Eingabemasken im Zusatzmodul festgelegt sind. Im Hinblick auf die Durchbiegung kann das Programm dadurch keine vernünftigen Ergebnisse liefern, da die fehlende Betrachtung der Schubnachgiebigkeit von Querschnitten mit dünnen Stegen zu großen Fehlern in der Ermittlung sowohl der elastischen als auch Langzeit-Durchbiegung führen kann.

Somit stellt die Bemessung von Finnjoist-Trägern mittels des Zusatzmoduls RF-HOLZ Pro zwar noch keine Methode zur finalen Nachweisführung dar, ist jedoch durchaus brauchbar für eine Vorbemessung ohne lokale Effekte wie Durchbrüche oder Auflager.

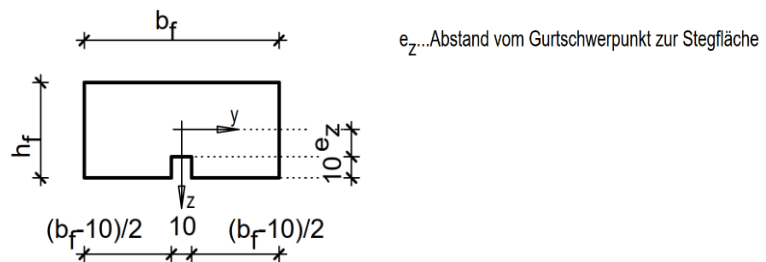
### 3.3.4 Erweiterte baustatische Modellbildung mit einem Stab-Flächenmodell in RFEM

Eine Erhöhung der baustatischen Modellierungstiefe gemäß **Abb. 7** könnte in der Ausführungsphase nötig werden, wenn ein Träger für alle möglichen Fälle der Bemessung wie z.B. Biegung, Querkraft, Auflagerung und Stabilität untersucht werden soll.



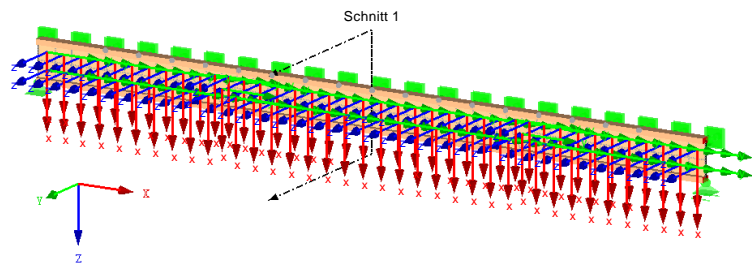
**Abb. 7:** Statisches Modell in Isometrie. Auszug aus FE-Programm der Fa. Dlubal.

Die beiden Gurte des Trägers werden als Stab mit dem Rechteckquerschnitt inklusiv Aussparung für den Gurt-Steg-Stoß modelliert. Der OSB-Steg wird als Fläche modelliert und den geometrischen Abmessungen angepasst. Den beiden Querschnittsteilen werden Materialeigenschaften gemäß ETA 2018 zugewiesen.



**Abb. 8:** Balken-Gurtquerschnitt in der FEM-Modellbildung. Abmessungen in mm.

Zusätzlich wird den Gurtstäben eine Exzentrizität  $e_z$ , s.a. **Abb. 8**, zugewiesen, um die reale Steghöhe und den Abstand des Schwerpunktes der Gurte realitätsnahe zu modellieren. Diese Exzentrizität definiert den Abstand zwischen der Kante des OSB-Steges und dem tatsächlichen Schwerpunkt des Gurtes.



**Abb. 9:** Anpassung des FE-Netztes. X-Achse des FE-Netztes (rot) parallel zur Deckfurnierrichtung.

Da das OSB-Material orthotrope Eigenschaften besitzt, sind die Materialeigenschaften den lokalen Koordinatenachsen von der FE-Fläche z.B. in Form einer vertikalen Orientierung des Koordinatensystems gemäß **Abb. 9** anzupassen. Die Größe des FE-Netztes ist in Abhängigkeit der zu erwartenden Spannungsgradienten zu wählen und bei Bedarf lokal zu verfeinern.

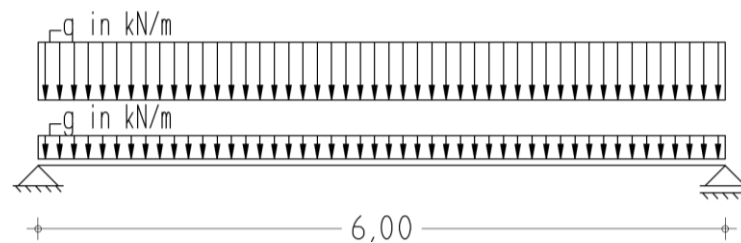
Nach klassischer Vorgabe nach ON B 1995 besteht auch in RFEM die Möglichkeit, zwecks Berücksichtigung von Kriechen das Konzept des Finalwertes der Steifigkeit durch eine **Abminderung von Steifigkeiten** getrennt für jeden Werkstoff anzuwenden. Diese Reduktion ist für jeden Lastfall getrennt vorzunehmen. Da Lastkombinationen nur mit einer Steifigkeit berechnet werden können, sind diese Ergebnisse als Ergebniskombination zu überlagern

**Alternativ dazu besteht in RFEM auch die Möglichkeit**, die elastischen Dehnungen zufolge eines Lastfalls bzw. einer Lastkombination mit materialspezifischer Skalierung als **eingeprägte Anfangsdehnung zu erfassen**. Multipliziert man die elastische Anfangsdehnung aus der Lastkombination ständiger Belastungen mit dem zugehörigen Deformationsbeiwert  $k_{def}$  getrennt für jeden Werkstoff, so definiert man damit die eingepprägten Dehnungen aus Kriechen und erhält im Gegenzug auch die „Eigenspannungen“  $\sigma_e$  im Querschnitt zufolge Kriechumlagerungen. Belastet man dieses System zusätzlich noch mit der Last aus dem Lastfall, z.B. Volllast, so überlagern sich die Spannungen und es ergeben sich zu den Spannungen im Endzustand nach dem Kriechvorgang  $\sigma_{fin}$  gemäß Kapitel 3.2.3. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann man somit die Anfangsdehnung aus dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den quasi-ständigen Anteil aller Lasten übernehmen und mit dem jeweiligen Deformationsbeiwert  $k_{def}$  getrennt für den jeweiligen Werkstoff multiplizieren. Somit wird der Einfluss der Kriechverformung auch auf die Tragfähigkeit des Trägers für jeden Werkstoff getrennt berücksichtigt.

## 4 Bauteilbemessung am Beispiel einer Geschoßdecke und Diskussion der Ergebnisse

### 4.1 Statisches System und Belastungen

In diesem Kapitel wird die Bemessung einer Holzbalkendecke aus Finnjoists anstelle von Balken aus Kantholz anhand eines Beispiels näher erläutert. Die Nachweisführung erfolgt im Zeitpunkt  $t=0$  (= nach dem ersten Aufbringen der Last) und dem Zeitpunkt  $t=\infty$ , wobei gemäß ON B 1995 der Effekt von  $k_{def}$  nur auf die Systemverformungen ohne Eigenspannungszustand erfasst werden kann. Das zur Untersuchung ausgewählte System bildet einen Einfeldträger mit 6 m Stützweite (s.a. **Abb. 10**). Der seitliche Achsabstand ergibt sich aus den konstruktiven Vorgaben der Deckenkonstruktion und beträgt in der Regel 416, 625, 815, bzw. 1000 mm für die Deckenträger [12]. Die ständigen Lasten bestehen aus dem Eigengewicht des Trägers und dem Fußbodenaufbau ( $g_{k,2} = 1,80 \text{ kN/m}$ ). Die Nutzlasten werden variiert, um alle Fälle der Dauer der Lasteinwirkung zu untersuchen. Es wird angenommen, dass der Druckgurt des Trägers seitlich im Abstand von 300 mm abgestützt ist. Es besteht somit keine Stabilitätsgefahr für den Gurt des Trägers.



**Abb. 10:** System und Belastung.

Die Lastgrößen werden im Sinne dieses akademischen Beispiels so angepasst, dass der Querschnitt einerseits im Zuge der Biegebeanspruchung, andererseits im Zuge der Querkraftbeanspruchung **aufgegliedert für die jeweilige Klasse der Lasteinwirkungsdauer** zum Zeitpunkt  $t=0$  mit dem vollständigen Aufbringen aller Lasten seine Bemessungsschnittgröße gemäß ETA 2018 erreicht. Hier wird nochmals darauf hingewiesen, dass kein Unterschied in der Europäischen Technischen Zulassung zwischen den Bemessungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit zum Zeitpunkt  $t = 0$ , sowie  $t = \infty$  besteht. Dieser Aspekt wird im weiteren Verlauf dieser Bachelorarbeit noch erläutert. Die Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffeigenschaften und Beanspruchbarkeiten der im Finnjoist I-Träger verwendeten Baustoffe gemäß ETA 2018 sind übereinstimmend mit ON B 1995. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind **für beide Holzmaterialien  $\gamma_M = 1, 2$** .

Für die Untersuchung werden zwei Querschnitte aus dem Querschnittskatalog der ETA 2018 betrachtet, nämlich **der kleinste Querschnitt FJI 38/160-36** und **der größte Querschnitt FJI 96/600-45**. Die beiden Querschnitte sowie deren Abmessungen sind in der **Abb. 11** dargestellt. Im gewöhnlichen Wohnraumklima (NKL1) bei üblichen Aufbau- und Nutzlasten der Kategorie A könnte man mit FJI 35/160-36 die Spannweiten bis maximal ca. 2 m überdecken. Daher empfiehlt sich der Träger eher für nicht ausgebaute Dachgeschossdecken mit bis 4 Meter Spannweiten. **Mit dem großen Querschnitt FJI 96/600-45** kann man die üblichen Aufbau- und Nutzlasten der Kategorie A über Spannweite von ca. 7 Meter abtragen. Für kleinere Spannweiten kann der Träger auch für Lagerräume in der NKL2 verwendet werden.

Um die Querschnittswerte vereinfacht zu ermitteln, wird der Nennwinkel ( $6^\circ$ ) in der Gurt-Steg-Anschlussfuge vernachlässigt (siehe **Abb. 11**). Somit hat die Nut im Druck-, bzw. Zuggurt eine quadratische Form mit einer Breite und einer Tiefe von 10 mm. Die rechnerische Stegbreite wird gemäß ETA 2018 mit 10 mm angenommen.

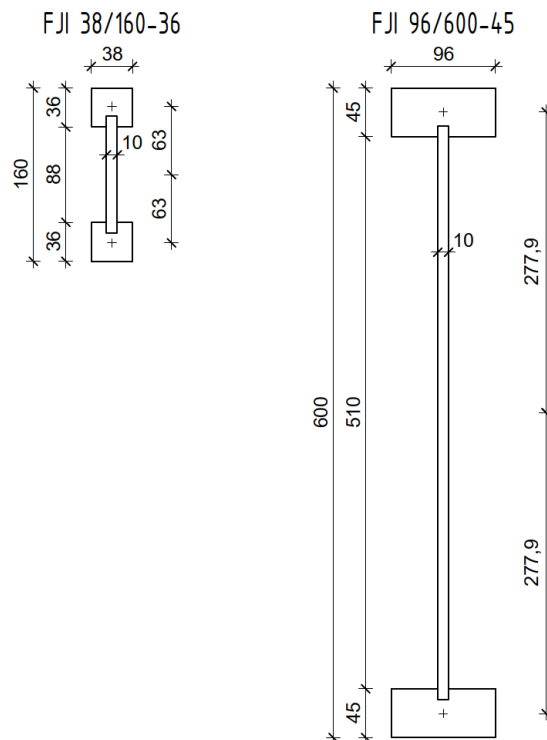


Abb. 11: Von links nach rechts: FJI 38/160-36 und FJI 96/600-45. Abmessungen in mm.

#### 4.2 Vergleich der Ergebnisse nach ETA 2018, ON B 1995 und alternativem Kriechnachweis

Für die Systemberechnung wird die Biegesteifigkeit der beiden Träger gemäß (1) mit den Steifigkeitswerten lt. Tab. 1, ermittelt. Hier ist zwischen der Anfangssteifigkeit - ermittelt mit üblichen Mittelwerten der Elastizitätsmodulen der einzelnen Holzwerkstoffe - und der Endsteifigkeit - abgemindert mit dem Faktor  $(1+\psi_2 \cdot k_{def})$  - zu unterscheiden. Die charakteristischen Werte der Biegesteifigkeit der zu untersuchenden Querschnitte sind in Abhängigkeit vom Zeitpunkt und Nutzungsklasse in der Tab. 4 erfasst. Die dort angegebenen Biegesteifigkeitswerte sind mit den zu jedem Holzwerkstoff anzuwendenden Deformationsbeiwerten  $k_{def}$  gemäß Tab. 3 ermittelt. Die Endsteifigkeiten wurden mit dem Beiwert für den quasi-ständigen Anteil der Einwirkung  $\psi_2 = 1$  ermittelt.

In Abb. 12 bis Abb. 15 sind die Design-Werte für Grenzbiegemomente in Abhängigkeit von der Nutzungsklasse, Klasse der Lasteinwirkungsdauer, sowie der Bemessungsmethode angegeben. Die bemessungsentscheidenden Querschnittskomponente (LVL oder OSB/3) sind in Klammern dargestellt.

Tab. 4: Rechnerisch ermittelte charakteristische Biegesteifigkeit vom FJI 38/160-36, sowie FJI 96/600-45 im Zeitpunkt  $t=0$  und  $t=\infty$  in beiden Nutzungsklassen

Querschnitt	$EI_{eff,t=0}$ in $N/mm^2$	$EI_{eff,t=\infty}$ in $N/mm^2$ (NKL1)	$EI_{eff,t=\infty}$ in $N/mm^2$ (NKL2)
FJI 38/160-36	$14,571 \cdot 10^{10}$	$9,036 \cdot 10^{10}$	$8,017 \cdot 10^{10}$
FJI 96/600-45	$938,732 \cdot 10^{10}$	$578,333 \cdot 10^{10}$	$512,293 \cdot 10^{10}$

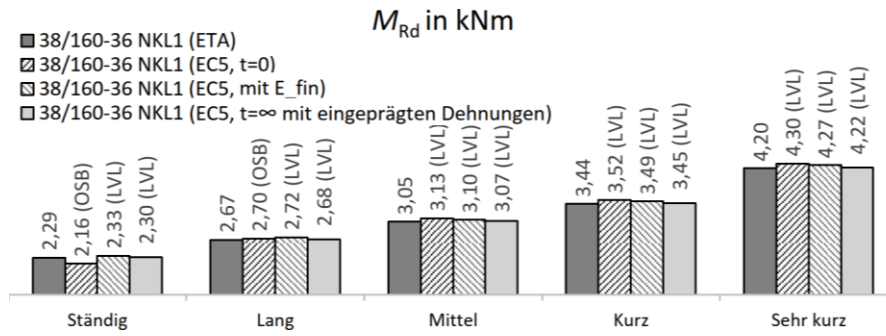


Abb. 12: FJI 38/160-36: Bemessungswert des Grenzbiegemomentes in NKL1 in der Abhängigkeit von der KLED, sowie der Bemessungsmethode.

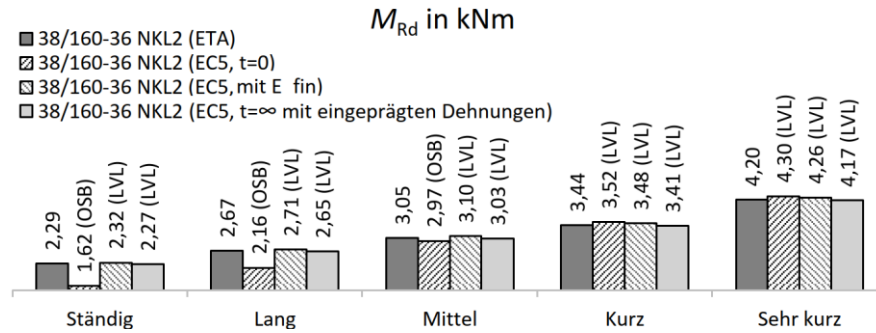


Abb. 13: FJI 38/160-36: Bemessungswert des Grenzbiegemomentes in NKL2 in der Abhängigkeit von der KLED, sowie der Bemessungsmethode.

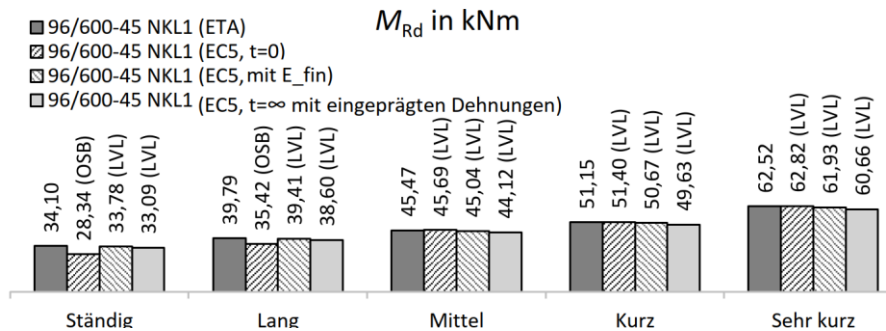


Abb. 14: FJI 96/600-45: Bemessungswert des Grenzbiegemomentes in NKL1 in der Abhängigkeit von der KLED, sowie der Bemessungsmethode.

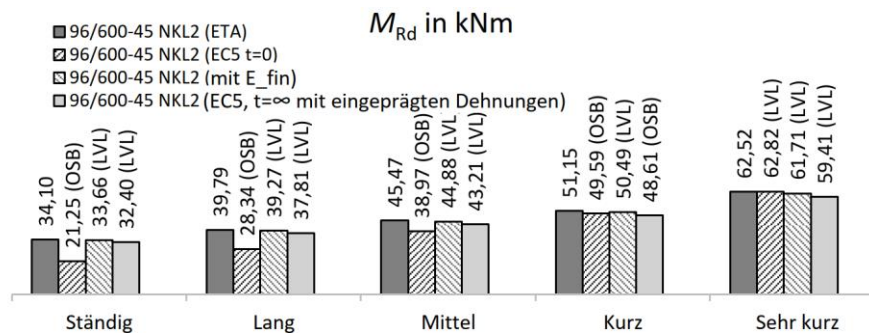


Abb. 15: FJI 96/600-45: Bemessungswert des Grenzbiegemomentes in NKL2 in der Abhängigkeit von der KLED, sowie der Bemessungsmethode.

Aufgrund des Erreichens des Bemessungswertes der Zugfestigkeit des Steges quer zur Haupt- richtung der Strands infolge der Hochkantbiegung ergibt sich das besonders bei großen Träger auffällig kleinere Widerstandsmoment für die ständige, sowie lange Lasteinwirkungsdauer in der Nutzungsklasse 2. **Durch das Beziehen des Modifikationsbeiwertes  $k_{mod}$  von LVL auf ganzen Querschnitt gemäß ETA 2018 wird die Querschnittstragfähigkeit überschätzt.**



**Tab. 5:** Ermittelte und im ETA 2018 angegebene Torsionssteifigkeit von beiden Querschnitten

Querschnitt	$GI_{k,tor,ges}$		$GI_{k,tor,ges}$
	rechnerisch ermittelt	aus ETA 2018 (2013)	aus ETA 2018 (2018)
FJI 38/160-36	$0,029 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2$	$0,031 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2$	$0,033 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2$
FJI 96/600-45	$0,222 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2$	$0,279 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2$	$0,191 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2$

In der **Tab. 5** wird die rechnerisch ermittelte Torsionssteifigkeit gemäß (2) der beiden erwähnten Querschnitte mit dem in ETA vom Jahr 2013 [10] und vom Jahr 2018 [9] angegebenen Wert für Torsionssteifigkeit verglichen. Obwohl sich der errechnete Wert der Torsionssteifigkeit von der aktuellen Zulassung des Jahres 2018 mit dem Wert aus der Zulassung von 2013 unterscheidet, ist der **charakteristische Wert des maximal zulässigen Torsionsmomentes** gleich groß geblieben. Es ist anzumerken, dass sich nur die Werte für die Torsionsschubsteifigkeit in den Ausgaben 2013 und 2018 signifikant unterscheiden. Der rechnerische Wert stimmt mit den aktuellen Angaben gut überein. In der Europäischen Technischen Zulassung gibt es leider keinen Hinweis, welcher Werkstoff infolge der Torsionsbelastung bemessungsentscheidend ist. Somit bleibt unklar, welcher werkstoffspezifische Modifikationsbeiwert zu verwenden ist.

### 4.3 Ergebnisse mittels Statiksoftware

Nachdem die Basissoftware mit Nachweisführung entweder mittels RF-LIMITS oder RF-HOLZ Pro hinsichtlich baustatischer Modellbildung Einschränkungen unterworfen sind und die Berücksichtigung des Kriecheinflusses gar nicht oder nur im gewissen Ausmaß erfolgt, liefert die Nachweisführung an einem Stab-Flächen Modell im RFEM sehr vernünftige Ergebnisse.

In diesem Kontext werden die **Biegespannungen** des im Kapitel 3.3.4 erwähnten Träger FJI 96/360-45 im Grenzzustand der Tragfähigkeit in der Feldmitte gelegten (siehe Schnitt 1 gemäß **Abb. 7**) in Hinblick auf verschiedene Bemessungsverfahren (=  $k_{def}$  fachen eingepprägten elastischen Anfangsdehnungen ( $\varepsilon_{el} \cdot k_{def}$ ) sowie mittels reduzierter Steifigkeiten gemäß ON B 1995) untersucht. Die Reduktion der Steifigkeiten der Materialien gemäß ON B 1995 erfolgt nach (4), bzw. (5), wobei der Kombinationsbeiwert für quasi-ständigen Anteil der veränderlichen Lasten  $\psi_2$  gleich 0,3 ist, da die größte Biegespannung sich aus dem Lastfall: „Nutzlast der Kat. A“ ergibt.

Da die FJI-Träger üblicherweise im Wohnbau eingesetzt werden, entspricht das betrachtete Umgebungsklima (= Innenräume von Wohn-, Schul- und Verwaltungsbauten) der Nutzungsklasse 1 gemäß ON B 1995.

**Tab. 6:** Bezeichnung der Festigkeiten in NKL1, KLED „mittel“, sowie deren Größen.

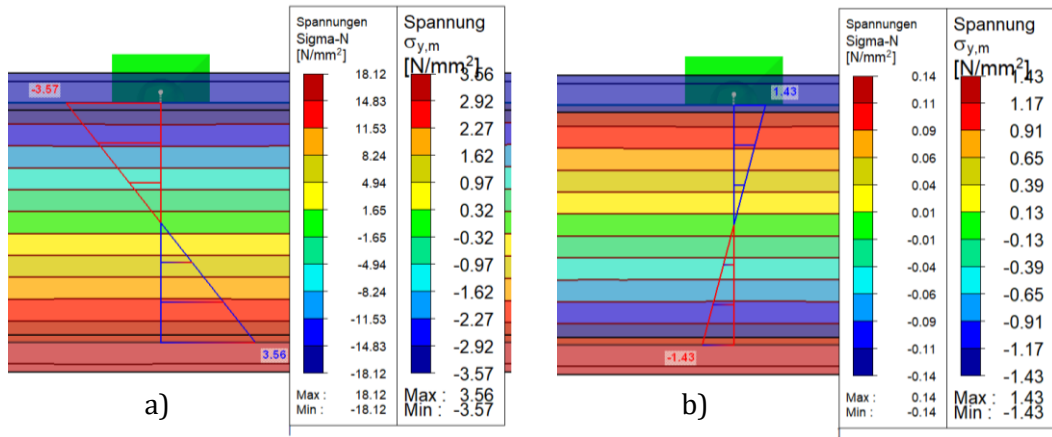
Bezeichnung	Symbol	Grenzwert in NKL 1, KLED „mittel“
Randspannungen im Druck- bzw. Zuggurt	$\sigma_{f,c(t),max,d}$	25,60 N/mm <sup>2</sup>
Schwerpunktspannungen im Druck-, bzw. Zuggurt	$\sigma_{f,c(t),d}$	18,67 N/mm <sup>2</sup>
Druck-, bzw. Zugspannungen im Steg (Hochkantbiegung)	$\sigma_{w,c(t),d}$	4,20 N/mm <sup>2</sup>

Die Bezeichnung der Festigkeitswerten in NKL1, KLED „mittel“ und deren Größen sind in **Tab. 6** angegeben. Der Grenzwert des Biegemomentes FJI 96/360-45 beträgt  $M_{y,Rd} = 25,44 \text{ kNm}$ .

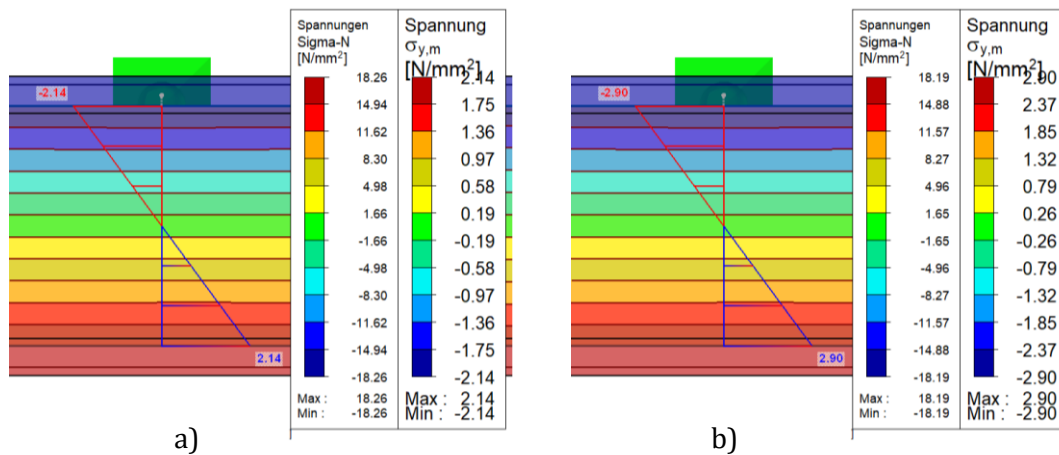
Der Plot der Flächen- sowie Stablängsspannungen zum Zeitpunkt  $t = 0$ , die infolge eines Bemessungsmomentes ( $M_{Ed} = M_{Rd} = 25,44 \text{ kNm}$ ) auftreten, sind in **Abb. 16a**) und die induzierten Eigenspannungen infolge des Kriechens in **Abb. 16b**) dargestellt.

**Abb. 17 a)** bzw. **b)** stellen die Plots der Flächen- sowie Stablängsspannungen im Zeitpunkt  $t = \infty$  (= nach dem Kriechvorgang) dar, wobei die Bemessung mit eingepprägten Kriechdehnungen bzw. nach ON B 1995 erfolgte. Die Stablängsspannungen  $\sigma_N = \sigma_{f,c(t)}$  bezeichnen die für LVL maßgebenden Schwerpunktspannungen im Druck- bzw. Zuggurt. **Da die Gurtrandspannungen**

$\sigma_{f,c(t),max}$  **nie ein maßgebendes Kriterium bilden**, werden diese nicht angezeigt. Die Flächen-  
spannungen  $\sigma_{y,m}$  bedeuten die Membranspannungen quer zur Deckfurnierichtung der OSB-  
Stege und entsprechen somit der Hochkantbiegung des Steges. (= lokale y-Richtung der FE-Fläche  
gemäß **Abb. 9**). Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, kann der Unterschied in Bezug auf Span-  
nungsumlagerung im Querschnitt zwischen beiden Bemessungsmethoden relativ groß werden.

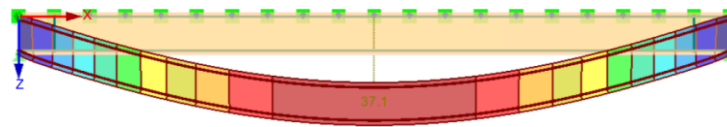


**Abb. 16:** a) Biegespannungen  $\sigma_{inst}$  zu dem Zeitpunkt  $t=0$ , sowie b) induzierte Eigenspannungen infolge des Kriechens im Schnitt 1, NKL 1.

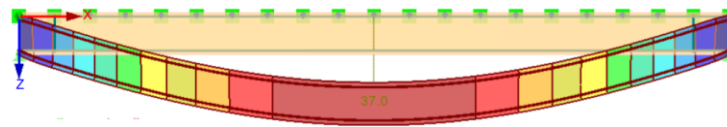


**Abb. 17:** a) Biegespannungen  $\sigma_{fin}$  zu dem Zeitpunkt  $t=\infty$ .  
Bemessung **mit eingepprägten Anfangsdehnungen**, NKL1 und  
b) Biegespannungen  $\sigma_{fin}$  zu dem Zeitpunkt  $t=\infty$  im Schnitt 1.  
Bemessung **mit reduzierten Steifigkeiten** nach ON B 1995, NKL1

**Das Nachweisformat mittels eingepprägten Kriechdehnungen** wird nun in Hinblick auf das Verhalten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit untersucht. Da das Kriechen in der Anfangsdurchbiegung nicht vorkommt, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit nur die Enddurchbiegung (=Langzeitdurchbiegung, quasi-ständige Bemessungssituation) betrachtet. Dabei werden wie im vorherigen Kapitel zwei Bemessungsmethoden ausgewertet. Die Materialsteifigkeiten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind lt. ON B 1995 gemäß (6) sowie (7) zu ermitteln. Diese Annahme ermöglicht den Einfluss des Kriechens in Bezug auf die Langzeitdurchbiegung zu berücksichtigen, wobei doch die tatsächliche Steifigkeit der Materialien während der gesamten Nutzungsdauer nahezu unverändert bleibt. Bei der Ermittlung der Langzeitdurchbiegung im Zeitpunkt  $t=\infty$  mittels eingepprägter Dehnungen wird die getrennt für jeden Holzwerkstoff mit dem Deformationsbeiwert  $k_{def}$  multiplizierte Anfangsdehnung aus dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den quasi-ständigen Anteil aller Lasten im Zeitpunkt  $t=0$  übernommen. Die Ergebnisse der beiden Ermittlungsverfahren sind in u.a. Abbildungen dargestellt.

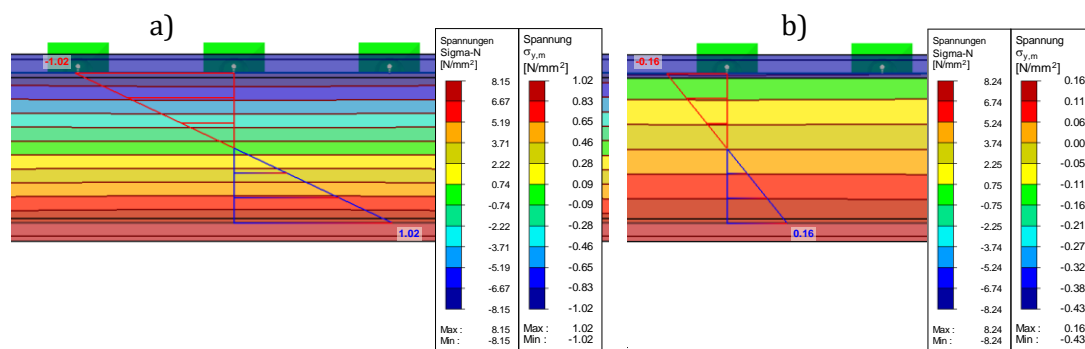


**Abb. 18:** Enddurchbiegung (37,1 mm in der Feldmitte), ermittelt mittels eingepprägten Kriechdehnungen.



**Abb. 19:** Enddurchbiegung (37,0 mm in der Feldmitte), ermittelt nach ON B 1995 mit reduzierten Steifigkeiten,  $\psi_2 = 1,0$ .

Wie die Untersuchung in Bezug auf die Langzeitdurchbiegung zeigt, kann die Bemessung mittels eingepprägten Kriechdehnungen sehr empfehlenswert sein. Die Ergebnisse stimmen mit der Bemessungsmethode nach ON B 1995 mit reduzierten Steifigkeiten gemäß (6), bzw. (7). Um nun den Unterschied in der Spannungsumlagerung zu zeigen, sind die Stab-, sowie Flächenlängsspannungen im Schnitt 1 (= Feldmitte) gemäß **Abb. 20** im untersuchten Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit dargestellt. Die Stablängsspannungen  $\sigma_N$  bezeichnen die Schwerpunktspannungen im Druck-, bzw. Zuggurt. Die Flächenlängsspannungen  $\sigma_{y,m}$  bedeuten die Membranspannungen quer zur Deckfurnierichtung des OSB-Steges.



**Abb. 20:** Biegespannungen im Schnitt 1 im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei quasi-ständiger Bemessungssituation. Ermittlung der Spannungen mittels a) eingepprägten Dehnungen, sowie b) mittels reduzierten Steifigkeiten nach ON B 1995.

## 5 Sonderfall: Stegöffnungen für die Haustechnik

Im Steg dürfen gemäß ETA 2018 runde, sowie rechteckige Durchbrüche durch Ermittlung der reduzierten Grenzkraft gemäß Anhang 3 der ETA 2018 hergestellt werden. Es wird hier darauf hingewiesen, dass die Ecken der rechteckigen Öffnungen vorsichtiger herzustellen sind. Es dürfen keine Sägeschnitte über die Ecke hinaus erfolgen, da dadurch erhebliche Spannungskonzentration in diesen Bereichen induziert werden. Die Öffnungen mit dem Durchmesser größer als 20 mm dürfen nur in der Stabachse hergestellt werden. Die weiteren geometrischen Bedingungen sind im Annex 3 der ETA 2018 zu finden.

Nachstehend werden **Bemessungsverfahren** für Stegöffnungen gemäß **ETA 2018**, **ON B 1995**, sowie anhand eines **FE-Modells** verglichen. Der charakteristische Wert des Querkraftwiderstandes im Bereich der Öffnungen ist gemäß Formel (24) in der ETA 2018 abzumindern. Die Kurzbezeichnungen der Querschnittsabmessungen, sowie die Querschnittsdarstellung sind in der **Abb. 1** ersichtlich.

## 5.1 Nachweisstrategie nach ETA 2018

Die reduzierte charakteristische Grenzwirkkraft im Querschnitt mit einer Öffnung ist wie folgt zu bestimmen:

$$R_{V,k,hole} = 1,1 \cdot k_{hole} \cdot R_{V,k} < R_{V,k} \quad (19)$$

Falls die Breite eines rechteckigen Loches kleiner als  $\min(h; 240\text{mm})$  ist:

$$R_{V,k,hole} = \max\left(\frac{1,1 \cdot k_{hole} \cdot R_{V,k}}{1,23[N/mm^2] \cdot b_f \cdot h_f}\right) \leq R_{V,k} \quad (20)$$

Der Beiwert  $k_{hole}$  berücksichtigt die Auswirkung des Loches und lässt sich wie folgt ermitteln:

$$k_{hole} = \frac{h_w + h_f - k_{shape} \cdot h_{hole} - k \cdot 38}{h_{w,eff-38}}; \quad 0 \leq k_{hole} \leq 1,0 \quad (21)$$

Die zugehörige effektive Steghöhe errechnet sich wie folgt:

$$h_{w,eff} = \frac{35 \cdot b_w}{h_w} \cdot (h_w + h_f) \leq h_w + h_f \quad (22)$$

Der Formbeiwert  $k_{shape}$  ergibt sich aus der Geometrie des Loches und beträgt bei runden Öffnungen 1,0 und bei rechteckigen 1,23. **Der Beiwert  $k$  berücksichtigt die Auswirkung des Systemloches von Ø38 mm bis zu einem Abstand von 300 mm**, das in der Nähe des geplanten Durchbruches vorhanden sein kann und ergibt sich wie folgt:

$$k = \frac{250 - h - h_{hole}}{76}; \quad 0 \leq k \leq 1,0 \quad \text{bei} \quad h < 212 \text{ mm} \quad (23)$$

$$k = \frac{h - h_{hole} - 174}{76}; \quad 0 \leq k \leq 1,0 \quad \text{bei} \quad h \geq 212 \text{ mm}$$

Der Bemessungswirkkraftwiderstand mit einer Öffnung ergibt sich aus folgender Gleichung:

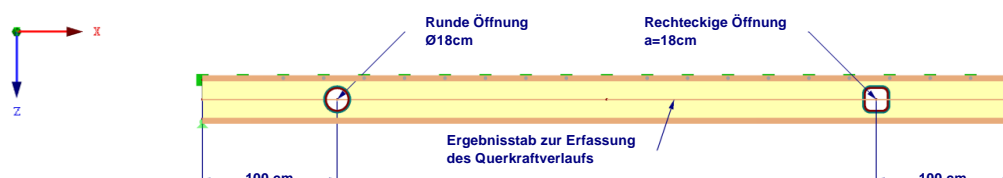
$$R_{V,d,hole} = k_{mod,OSB} \cdot \frac{R_{V,k,hole}}{\gamma_{M,OSB}} \quad (24)$$

## 5.2 Nachweisstrategie nach ON B 1995

Gemäß ON B 1995, **Anhang F** ist eine näherungsweise Bemessung von Durchbrüchen nach Stabtheorie enthalten, jedoch nur für Rechteckquerschnitte und Vollholzwerkstoffe und demnach nicht für OSB zu übertragen. Die darin enthaltenen Grundsätze der Nachweisführung mit Fokus auf Nettoquerschnittsschwächung, Interaktion von Spannungskomponenten und Ausbildung von Kernspannungseffekten sollte jedoch auch für eine Bemessung von Durchbrüchen in FJI übernommen werden.

## 5.3 Nachweisstrategie und Ergebnisse mittels RFEM

Als statisches Modell (siehe **Abb. 21**) wird beispielsweise o.a. Querschnitt Finnjoists 96/360-45 mit denselben Auflagerbedingungen angenommen, wobei eine runde und eine rechteckige Öffnung in 1m Abstand zu jedem Auflager modelliert werden.



**Abb. 21:** Statisches Modell mit Stegöffnungen. Auszug aus FE-Programm der Fa. „Dlubal“.

Die Ränder der rechteckigen Öffnung werden mit 2,0 cm abgerundet. Zur Darstellung des Querkraftverlaufs wird ein Ergebnisstab modelliert, welches sich auf den öffnungsfreien Träger bezieht. Die Bemessungslast wird so angepasst, dass der abgeminderte Bemessungswert des Querkraftwiderstandes für Stegöffnungen gemäß (24) für die NKL 1 und KLED-Mittel erreicht ist (siehe **Tab. 7**).

**Tab. 7:** Charakteristische, abgeminderte charakteristische sowie Bemessungswert der Grenzquerkraft für die NKL1, KLED-Mittel. Querschnitt FJI 95/360-45 mit Stegöffnungen gemäß ETA 2018

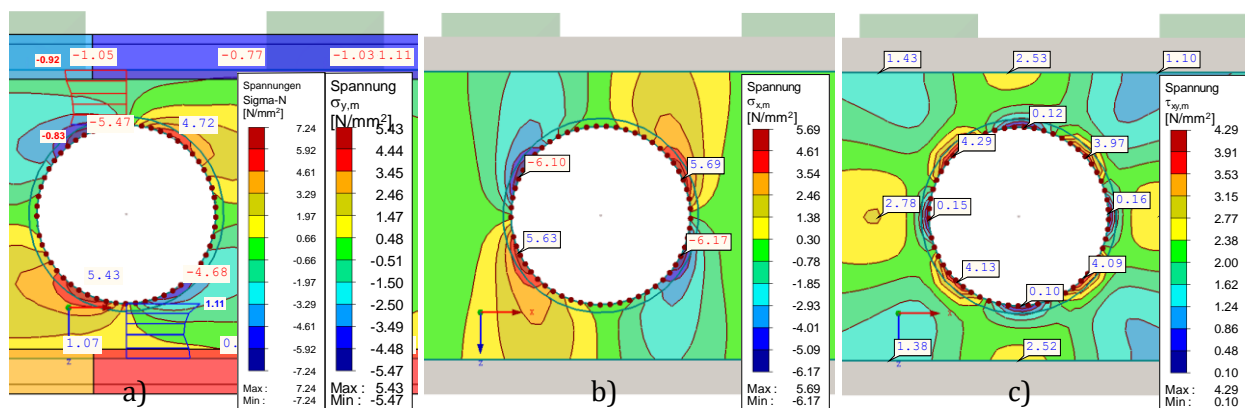
Form der Öffnung	Ø bzw. Seitenlänge der Öffnung	$R_{V,k}$	$R_{V,k,hole}$	$\frac{R_{V,k}}{R_{V,k,hole}}$	$R_{V,d,hole}$
Rund	Ø18 cm		9,00 kN	1,91	5,25 kN
Rechteckig	a=18 cm	17,16 kN	6,17 kN	2,78	3,60 kN
Rund	Ø9 cm		12,74 kN	1,35	7,43 kN
Rechteckig	a=9 cm		11,33 kN	1,51	6,61 kN

In folgenden Abbildungen sind die Spannungen in vertikale Richtung, also parallel zur Hauptrichtung von OSB-Strands (= lokale x-Richtung der FE-Fläche, siehe **Abb. 9a**), die Biegespannungen quer zur Hauptrichtung der Strands (lokale y-Richtung der FE-Fläche, siehe **Abb. 9b**) sowie die Schubspannungen in den Bereichen der Öffnungen infolge der abgeminderten Grenzquerkraft gemäß (24) (siehe **Abb. 9c**) dargestellt. Den Umfangslinien der Öffnungen wurde die Funktion der FE-Netzverdichtung zugewiesen, welche die Netzgröße auf das Maß von 1 cm verfeinert.

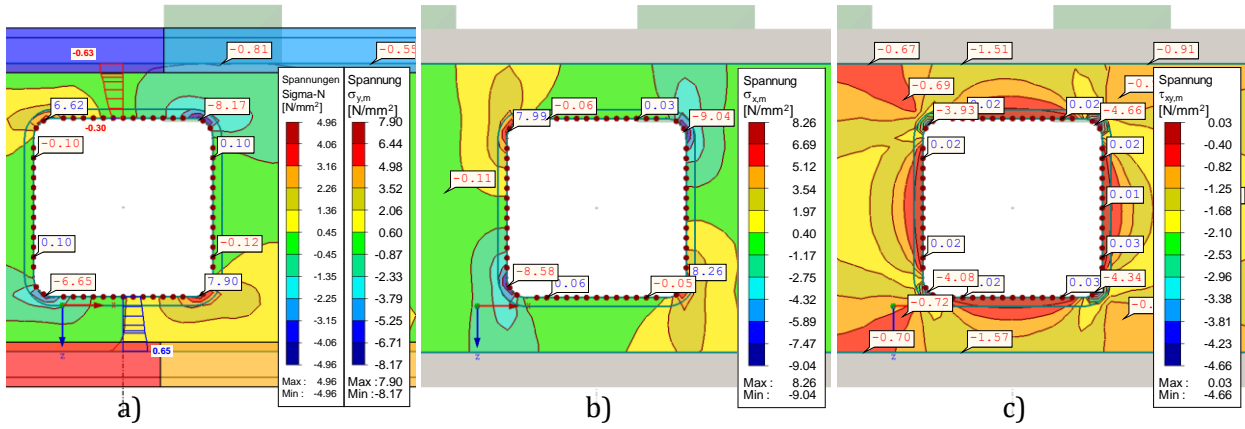
Die charakteristischen Grenzspannungen, sowie Bemessungswerte der Grenzspannungen in NKL1, KLED „mittel“ bei OSB/3 sind in **Tab. 8** angegeben.

**Tab. 8:** Charakteristische, sowie Bemessungsfestigkeit für NKL1, KLED „mittel“ von OSB/3

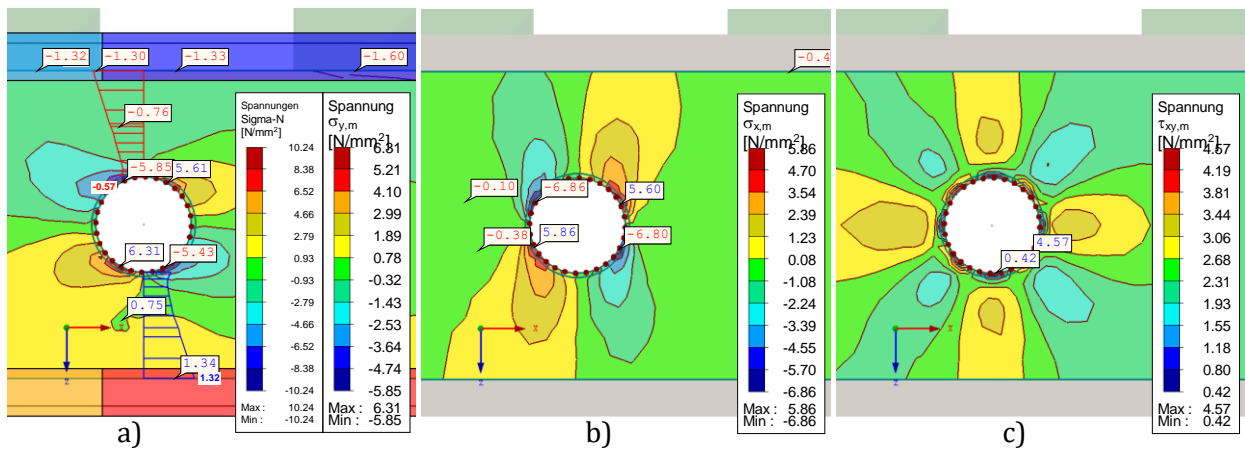
Bezeichnung	Symbol	Char. Wert	Bemessungswert für NKL1, KLED „mittel“
<b>Druckfestigkeit</b> in Hauptrichtung der Strands (lokale x-Richtung der FE-Fläche)	$f_{c,x,0}$	15,90 N/mm <sup>2</sup>	9,28 N/mm <sup>2</sup>
<b>Zugfestigkeit</b> in Hauptrichtung der Strands (lokale x-Richtung der FE-Fläche)	$f_{t,x,0}$	9,90 N/mm <sup>2</sup>	5,78 N/mm <sup>2</sup>
<b>Biegefestigkeit</b> quer zur Hauptrichtung der Strands (lokale y-Richtung der FE-Fläche) infolge einer Scheibenbiegung	$f_{w,m,y}$	7,20 N/mm <sup>2</sup>	4,20 N/mm <sup>2</sup>
<b>Schubfestigkeit</b>	$f_{v,k}$	6,80 N/mm <sup>2</sup>	3,97 N/mm <sup>2</sup>



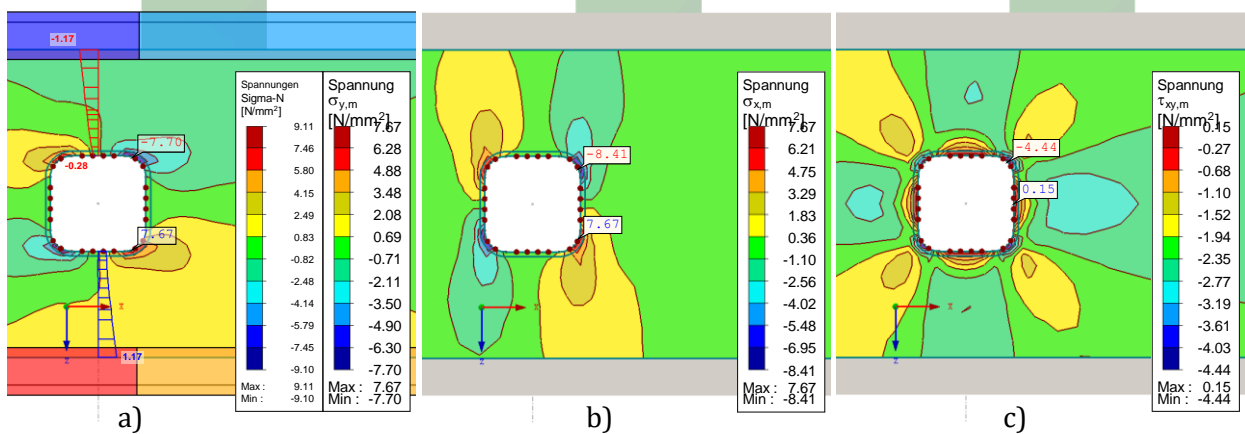
**Abb. 22:** Die Gurtschwerpunktspannungen  $\sigma_N$ , Hochkantbiegespannungen  $\sigma_{y,m}$ , Membranspannungen in Deckschichtrichtung  $\sigma_{x,m}$  sowie die Schubspannungen  $\tau_{xy,m}$ . Gültig für eine Öffnung mit Durchmesser von 18cm und der abgeminderten Grenzquerkraft gemäß ETA 2018,  $V_{Ed} = 5,25 \text{ kN}$ .



**Abb. 23:** Die Gurtschwerpunktspannungen  $\sigma_N$ , Hochkantbiegespannungen  $\sigma_{y,m}$ , Membranspannungen in Deckschichttrichtung  $\sigma_{x,m}$  sowie die Schubspannungen  $\tau_{xy,m}$ . Rechteckige Öffnung mit  $a=18\text{cm}$ . Abgeminderte Grenzquerkraft gemäß ETA 2018,  $V_{Ed} = 3,60\text{ kN}$ .



**Abb. 24:** Die Gurtschwerpunktspannungen  $\sigma_N$ , Hochkantbiegespannungen  $\sigma_{y,m}$ , Membranspannungen in Deckschichttrichtung  $\sigma_{x,m}$  sowie die Schubspannungen  $\tau_{xy,m}$ . Runde Öffnung  $a=18\text{cm}$ . Abgeminderten Grenzquerkraft gemäß ETA 2018,  $V_{Ed} = 7,43\text{ kN}$ .



**Abb. 25:** Die Gurtschwerpunktspannungen  $\sigma_N$ , Hochkantbiegespannungen  $\sigma_{y,m}$ , Membranspannungen in Deckschichttrichtung  $\sigma_{x,m}$  sowie die Schubspannungen  $\tau_{xy,m}$ . Rechteckigen Öffnung  $a=9\text{cm}$ . Abgeminderte Grenzquerkraft gemäß ETA 2018,  $V_{Ed} = 6,61\text{ kN}$ .

### 5.4 Vergleich und Diskussion der Ergebnisse

Die Grundlagen zur Ermittlung der durch eine Öffnung geschwächten Grenzquerkraft im Querschnitt gemäß ETA 2018 bleibt für die Benutzerinnen und Benutzer der Zulassung unbekannt. Daher bleibt es auch unbekannt, ob bei dieser Nachweiskette eine mögliche Interaktion zwischen

Normal- und Schubspannungen berücksichtigt wurde. Wie aber aus obigen Abbildungen ersichtlich, erfüllt sogar die alleinige Betrachtung mancher Spannungsgrößen die Tragfähigkeit nicht, da zugehörige Bemessungswerte gemäß **Tab. 8** überschritten sind.

Eine ausführliche Modellbildung als Stab-Flächen-Modell und Vergleich realer Spannungskomponenten mit zumindest Maximalspannungen noch ohne Spannungsinteraktionen sollte Ergebnisse auf der sicheren Seite liefern, da sich die Nachweiskette gemäß ON B 1995 nur auf Biegeträger mit Rechteckquerschnitt aus Brettschicht- oder Furnierschichtholz spezialisiert.

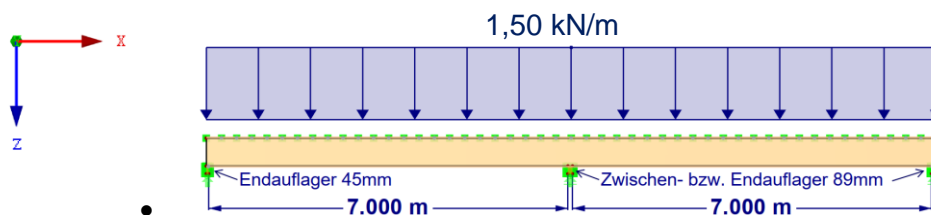
## 6 Sonderfall: Stabilitätsuntersuchung am Mittelaufleger

Die gemäß ON B 1995 auszuführenden Beulnachweise in Form geometrischer Kontrollbedingungen beziehen sich auf **Normal- und Schubspannungsbeulen**. Bei FJI-Trägern besteht allerdings auch die **Gefahr des Stegknicke**ns aus der Ebene an End- bzw. Zwischenauflagern.

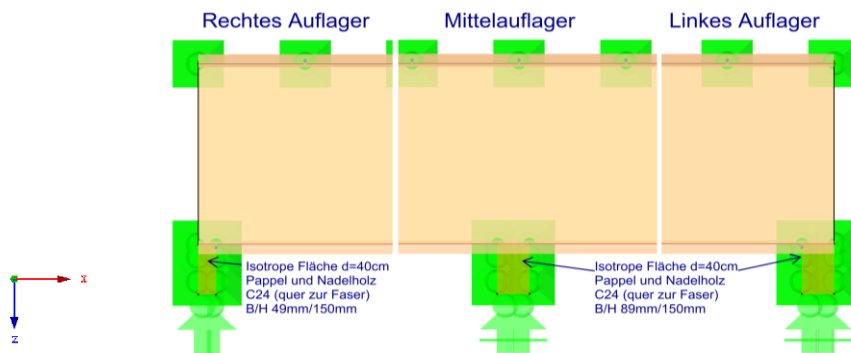
Grundsätzlich könnte man annehmen, dass mit den in Tabelle 2-4, a-c von ETA 2018 enthaltenen Grenzquerkräfte diese Problematik auch bereits enthalten ist. In Ergänzung zu den Nachweisen für Grenzstabschnittgrößen sind allerdings mit Tabelle 2-4 d von ETA 2018 auch charakteristische Werte für End- und Mittelauflegerwiderstände nur in Abhängigkeit von der Gurtgröße und der Auflagerbreite zu finden, also unabhängig von der Grenzquerkraft.

Die genauere Bewertung dieser etwas unklaren Bemessungssituation wurde mit Hilfe eines **kombiniertes Stab-Flächenmodell** für ein Zweifeldsystem mit dem Querschnitt FJI 58/600-39 analysiert:

- Die Feldspannweite beträgt 7 m (siehe **Abb. 26**).
- Der Obergurt des Trägers ist mit Abstand von 30 cm gemäß Vorgabe der ETA 2018 gegen seitliches Ausknicken gehalten.
- Die Belastung besteht aus einer gleichmäßig verteilten Linienlast entlang des ganzen Trägers.
- Die Belastungsgröße wird im Sinne dieses akademischen Beispiels so angepasst, dass der Querschnitt im Stützenbereich (= Bereich des Mittelauflegers) optimal ausgenutzt ist: ( $M_{y,Ed} < M_{y,Rd}$ ,  $V_{z,Ed} < V_{z,Rd}$ ). Die Auflagerkraft am Zwischenauflager entspricht in etwa dem errechneten Auflagerwiderstand ETA 2018 nach.
- Für den Einsatz des Trägers im Wohnbau wurde das Umgebungsklima für Nutzungsklasse 1 und eine mittlere Dauer der Lasteinwirkung angenommen.
- Für die genauere Modellierung gemäß konstruktiver Vorgaben der ETA 2018 werden die Endauflager mit der Mindestbreite von 45 mm (= Situation für ein Auflagerstahlteil) und das Zwischenauflager mit der **Breite von 89 mm** in RFEM modelliert. Der Träger wird damit auf isotrope elastischen Flächen mit einer Dicke von 40 cm lagern, welche die Materialeigenschaften von Pappel und Nadelholz C24 quer zur Faserrichtung aufweisen. Die Auflagerflächen sind aus der Ebene gehalten und das Tragsystem statisch bestimmt in globale X-Richtung fest bzw. verschieblich mittels Linienauflagern gelagert. In der **Abb. 27** sind die beiden Endauflager, sowie das Zwischenauflager detailliert dargestellt.



• **Abb. 26:** FE-Modell zur Untersuchung des Stegknicke. Belastung in kN/m.



**Abb. 27:** Detaildarstellung der Auflager.

Von links nach rechts: Linkes Auflager, Zwischenauflager, Rechtes Auflager.

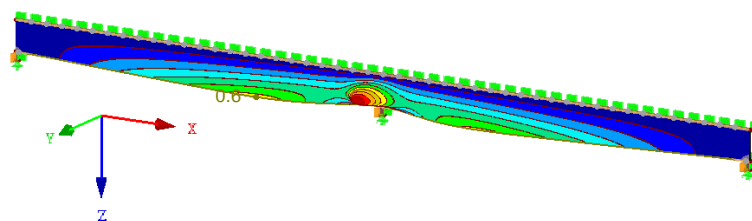
Die Bemessungswiderstandswerte des Querschnittes sowie der Widerstände am Auflager ohne Stegverstärkung sind in **Tab. 9** dargestellt.

**Tab. 9:** Bemessungswiderstandswerte von FJI 58/600-39 in NKL1, KLED „mittel“

Bezeichnung	Symbol	Char. Wert gem. ETA 2018	Bemessungswert NKL1, KLED „mittel“
Biegemoment	$M_{y,Rd}$	36,58 kNm	24,38 kNm
Querkraft	$V_{z,Rd}$	21,03 kN	12,27 kN
Endauflagerwiderstand (45mm breit)	-	11,55 kN	6,74 kN
Endauflagerwiderstand (89mm breit)	-	19,26 kN	11,24 kN
Zwischenauflagerwiderstand (89mm breit)	-	22,93 kN	13,38 kN

Mit dem in der Software „RFEM“ integrierten Zusatzmodul RF-Stabil kann eine Stabilitätsuntersuchung durchgeführt und der Verzweigungslastfaktor im Sinne einer potenziellen Steigerung der aufgetragenen Traglast abgelesen werden. Liegt der Verzweigungslastfaktor größer als 1, ist die Verzweigungslast größer als die Traglast. Das bedeutet, dass die Querschnittstragfähigkeit mit einer Bemessung auf Grenzspannungen möglicherweise noch nachgewiesen werden kann.

Die erste Eigenform mit dem Verzweigungslastfaktor  $f = 2,13$  des angegebenen Trägers ist in der Abbildung unten dargestellt.



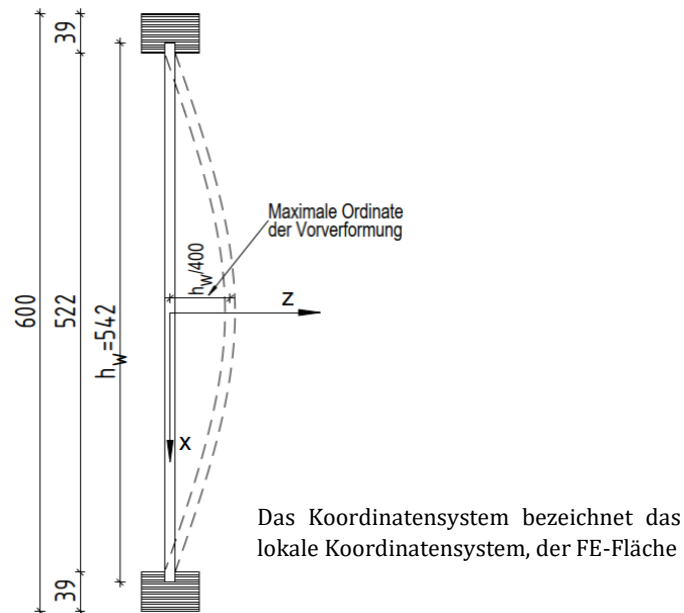
**Abb. 28:** 1. Eigenform des Trägers FJI 58/600-39. Verzweigungslastfaktor  $f = 2,13$ .

Aus der obigen Abbildung ist ersichtlich, dass **im Bereich des Zwischenlagers** der **Steg** aus der Tragwerksebene **ausknickt**. Parallel dazu findet ein **Knickproblem beim Untergurt** (= Druckgurt im Stützenbereich) statt. Da der Verzweigungslastfaktor bei der Traglast in der Höhe von 1,50 kN/m größer als 1 ist, erhält man eine 2,13-fache Verzweigungslast. Nachdem die Stabilitätsgefahr des Trägers in diesem Fall ausgeschlossen werden kann, ist noch ein Spannungsnachweis zu führen. Die resultierenden Plattenrandspannungen (= Biege- und Normalspannungen in Haupt- und Querrichtung des Strands gemäß **Abb. 9**) müssen somit die für OSB analog zu Vollholz anzuwendende Interaktionsbedingung von spannungsspezifischen Ausnutzungsgraden erfüllen. Ebenso sind die zusätzlichen Spannungskomponenten infolge von Gurtbiegung aus der Ebene zu berücksichtigen bzw. überlagern.

Um die Plattenbiegespannungen im OSB-Steg zu ermitteln, muss das FE-Netz - gemäß den Anforderungen für Berechnungen nach Theorie II. Ordnung - noch in eine imperfekte Lage



transformiert werden. Mit dem **Zusatzmodul RF-IMP** kann man diese Imperfektionen durch Skalieren der ersten Eigenform aus dem Zusatzmodul RF-Stabil als Systemimperfektion übernommen werden. Die maximale **Ordinate der Vorverformung** kann näherungsweise als  $h_w/400$  angenommen werden entsprechend der qualitativ ähnlichen Knickeigenform des Steges aus der Ebene (siehe **Abb. 29**).



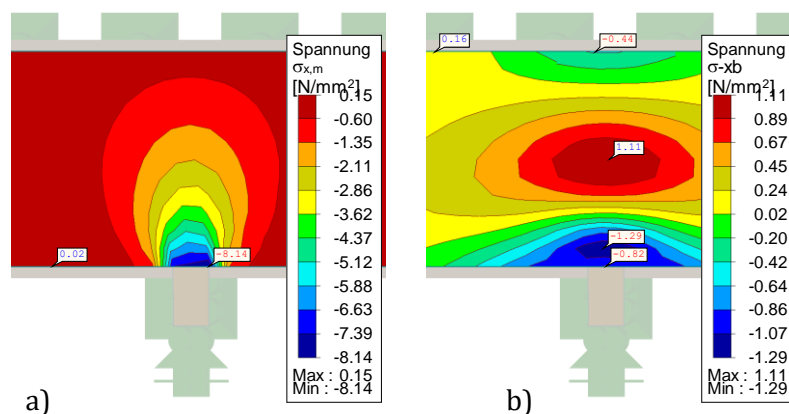
**Abb. 29:** Definition der maximalen Ordinate der Vorverformung auf Basis der ersten Eigenform.

In **Abb. 30**, bzw. **Abb. 31** ist der Plot der Membran-, sowie Randspannungen an Ober- bzw. Unterseite des OSB-Steges infolge der Plattenbiegung in lokale x-, bzw. y-Richtung der FE-Fläche. Diese Spannungen sind gemäß (25), bzw. (26) zu ermitteln.

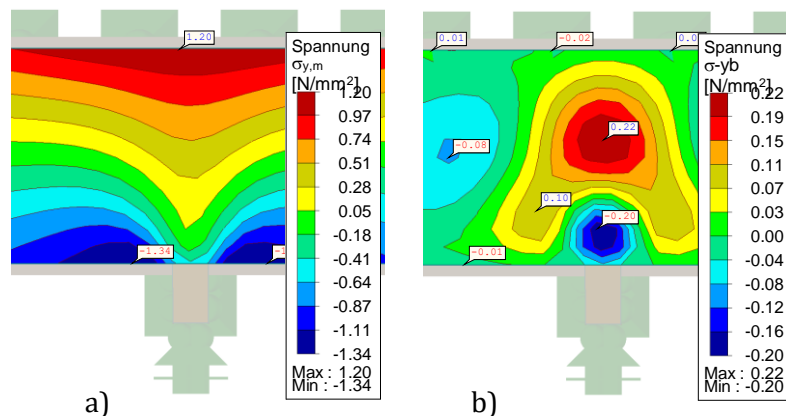
$$\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{d}, \quad \text{bzw.} \quad \sigma_{y,m} = \frac{n_y}{d}, \quad (25)$$

$$\sigma_{x,b} = \frac{6 \cdot m_x}{d^2} \quad \text{bzw.} \quad \sigma_{y,b} = \frac{6 \cdot m_y}{d^2} \quad (26)$$

Dabei steht  $n_x$  bzw.  $n_y$  für Scheibennormalkraft in Richtung der lokalen x-, bzw. y-Achse,  $m_x$  bzw.  $m_y$  für ein Biegemoment, welches Spannungen in Richtung der lokalen x-, bzw. y-Achse erzeugt und  $d$  für die Plattendicke.



**Abb. 30:** Vertikale Spannungen im Bereich des Mittelaufagers: a)  $\sigma_{x,m}$ , und b)  $\sigma_{x,b}$



**Abb. 31:** Horizontale Spannungen im Bereich des Mittelaufagers: a)  $\sigma_{y,m}$ , und b)  $\sigma_{y,b}$

Da die ausführlichen Interaktionsbedingungen für OSB-Platten in ON B 1995 nicht vorhanden sind, könnte die Tragfähigkeit des Steges nach folgenden Bedingungen nachgewiesen werden:

$$\left| \frac{\sigma_{x,m}}{f_{c(t),x,wall,0,d}} \right| + \left| \frac{\sigma_{x,b}}{f_{m,x,plate,0,d}} \right| \leq 1,00 \quad (27)$$

Und

$$\left| \frac{\sigma_{y,m}}{f_{c(t),y,wall,90,d}} \right| + \left| \frac{\sigma_{y,b}}{f_{m,y,plate,90,d}} \right| \leq 1,00 \quad (28)$$

Die Bezeichnung, sowie die Größenordnung der angeführten Festigkeitswerten sind in **Tab.10** zu finden. Die beiden Interaktionsbedingung gemäß **Formel (27)**, bzw. **(28)** stellen aufgrund der möglichen Vielzahl an Nachweisstellen am OSB-Steg einen großen Rechenaufwand dar. Um alle möglichen Interaktionsstellen hinsichtlich der Spannungsüberlagerung untersuchen zu können, empfiehlt sich die Anwendung des Zusatzmoduls **RF-LAMINATE**. Im Zusatzmodul kann die OSB-FE-Fläche als einschichtige Laminat-Fläche definiert und im Hinblick auf die dargestellte Spannungsinteraktionen an allen möglichen Stellen der Stegfläche effizient untersucht werden.

**Tab.10:** Bezeichnung sowie Größenordnung der Festigkeitswerten für OSB/3.

Bezeichnung	Symbol	Char. Wert	Bemessungswert in NKL1, KLED „mittel“
<b>Druckfestigkeit</b> entlang der Deckfurnierrichtung	$f_{c,x,wall,0}$	15,90 N/mm <sup>2</sup>	9,27 N/mm <sup>2</sup>
<b>Plattenbiegefestigkeit</b> entlang der Deckfurnierrichtung	$f_{m,x,plate,0}$	18,00 N/mm <sup>2</sup>	10,50 N/mm <sup>2</sup>
<b>Druckfestigkeit quer</b> zur Deckfurnierrichtung (z.B. infolge der Hochkantbiegung)	$f_{c,y,wall,90}$	12,90 N/mm <sup>2</sup>	7,53 N/mm <sup>2</sup>
<b>Zugfestigkeit quer</b> zur Deckfurnierrichtung (z.B. infolge der Hochkantbiegung)	$f_{t,y,wall,90}$	7,20 N/mm <sup>2</sup>	4,20 N/mm <sup>2</sup>
Plattenbiegefestigkeit quer zur Deckfurnierrichtung	$f_{m,y,plate,90}$	9,00 N/mm <sup>2</sup>	5,25 N/mm <sup>2</sup>

Ergibt sich aus der vorgeschlagenen Untersuchung mittels des Zusatzmoduls RF-LAMINATE, dass die Tragfähigkeit des OSB-Steges im Bereich des Mittelaufagers nicht gegeben ist, so sollte entweder der Steg **ausgesteift** oder die **Auflagerlänge vergrößert** werden. Da es wiederum kein ausführliches Nachweisformat für die Bemessung eines ausgesteiften Auflagers in ETA 2018 gibt, bleibt den Benutzerinnen und Benutzer der Europäischen Technischen Zulassung nichts

anders als eine ausführliche FEM-Analyse zu machen, oder die Querschnittsausnutzung gering zu halten.

## 7 Zusammenfassung

Die Diskussion über **Divergenz von Bemessungsergebnissen** nach unterschiedlichen Bemessungsmethoden lässt sich in Form folgender Empfehlungen an unterschiedliche Adressaten zusammenfassen.

### 7.1 Empfehlung für eine Überarbeitung der ETA 2018

Nachstehende Empfehlungen betreffen Probleme, welche einerseits aus **Vereinfachungen** mit der Forderung nach Ergebnissen auf der sicheren Seite und andererseits aus Unzulänglichkeiten als Folge von **verkürzter** und damit fallweise unvollständigen **Nachweisketten** entstehen.

#### 7.1.1 Schlüssigkeit der Mechanik im Kontext von Vereinfachungen

- Die isolierte **Bemessung mit Grenzstabschnittgrößen** sollte – ähnlich zur Praxis mit Stahlquerschnitten - an **Interaktionsbedingungen** gekoppelt sein. Speziell die Entkoppelung der aufnehmbaren Auflagerkraft von der Grenzschnittgröße für die Querkraft ist bedenklich. Es sollten zumindest derartige Mindestauflagerlängen angegeben werden, damit angegebene Grenzwerte der Querkraft uneingeschränkt aufgenommen werden können.
- Die **schnittgrößenspezifische** im Gegensatz zur materialspezifischen **Anwendung von  $k_{\text{mod}}$  bzw.  $k_{\text{def}}$**  kann für das uneingeschränkte Anwendungsspektrum von Nutzungsklassen und Lasteinwirkungsdauern zu Ergebnissen auf der unsicheren Seite führen. Die Anwendung der alternativen und auch realitätsnäheren Nachweisführung für Kriechen mittels eingepprägter Dehnungen demonstriert sehr eindeutig, dass Spannungsumlagerungen als Folge von heterogenem Kriechverhältnissen in einem Verbundbauteil nicht vernachlässigt werden dürfen. Davon betroffen sind vor allem die Spannungsnachweise für den OSB-Steg, welcher zwar nicht maßgeblich an der Momententragfähigkeit beteiligt ist, ein vorzeitiges Versagen als Bauteilkomponente u.U. jedoch Komplikationen beim finalen Traglastzustand bedeuten könnte. Die Schlüssigkeit von Nachweis Konzepten darf nicht durch Tribut an die Benutzerfreundlichkeit in Frage gestellt werden.
- Die **mechanische Transparenz zur Berücksichtigung von Durchbrüchen** ist am Beispiel der Abminderungsfaktoren für den Grenzwert der aufnehmbaren Querkraft und geometrischen Einschränkungen aktuell nicht gegeben. Für die Notwendigkeit einer alternativen Nachweisführung mittels FEM sollte zumindest die Zulässigkeit der ausschließlichen Verwendung von Maximalspannungskriterien für OSB gemäß aktuellen Produktnormen als bemessungsrelevantes Entscheidungskriterium offengelegt werden.

#### 7.1.2 Vollständigkeit bzw. Äquivalenz von Nachweisketten

- Für den **Stabilitätsnachweis** gegen Kippen ist gemäß ETA 2018 ein äquivalenter Knickspannungsnachweis für den gedrückten Gurt empfohlen. Es wäre auf jeden Fall zu klären, ob die Äquivalenz der Ergebnisse bei Anwendung des Ersatzstabverfahrens unter Verwendung der angegebenen Torsionssteifigkeiten ebenfalls gegeben ist und vielleicht sogar zu wirtschaftlicheren Ergebnissen führt. Für den Fall der Druckbelastung des Untergurtes bei Mehrfeldträger mit variablem Normalkraftverlauf wäre die Angabe einer äquivalenten Knicklänge hilfreich.
- Die **Nachweiskette für die Auflagerpressung** wird leider nur im Kontext der Abmessungen des Gurtes geführt unter Vernachlässigung der wesentlich kleineren Abmessungen und damit

bedingten höheren Spannungskonzentrationen im Bereich der Klebeverbindung zwischen Steg und Gurt.

- Der Nachweis für **Steher in Wandbauteilen** auf Normalkraftbeanspruchung bzw. Knicken ist aktuell nur gefordert für die Einhaltung von Grenzschnittgrößen. Eine exzentrische Lasteinleitung von vertikalen Normalkräften in nur einen Gurtbauteil mit u.U. komplexen Zusatzschubspannungen in der Klebefuge wird noch nicht diskutiert. Davon könnte auch die Bemessung von Durchbrüchen betroffen sein.
- Die **Transparenz mechanischer Zusammenhänge** als Basis für eine baustatische Modellbildung muss immer gegeben sein. Dies betrifft speziell die Annahmen zur Ableitung bzw. Bestimmung aller Grenzschnittgrößen. Beispielsweise sind die charakteristischen Grenzschnittgrößen von bestimmten FJI-Querschnitten in Tabelle 2-4 der ETA 2018 zu finden. Obwohl die Grenzwerte der Torsionsbeanspruchung von den Zulassungen der zwei verschiedenen Ausstellungsjahre, 2013 und 2018 identisch sind, unterscheiden sich die charakteristischen Werte der Torsionssteifigkeit. Das kann darauf hinweisen, dass die Ermittlung dieser Werte u.U. mittels empirischen Probeversuche durchgeführt wurde.

### 7.1.3 Verbesserungspotential

- Bei der Konzeption bzw. Organisation der ETA wäre speziell auf die **gleichwertige Anwendungsmöglichkeit von analytischen Formeln** im Sinn von Grenzschnittgrößen oder Spannungen mittels Handrechnung **und numerischen Methoden** auf Basis von FEM z.B. mittels kombiniertem Stab-Flächenmodell zu achten, um im Fall der Abweichungen von bestehenden Regeln Konstruktionsentscheidungen zweifelsfrei begründen zu können.
- Weiters sollten **Abweichungen** von Festigkeit und Steifigkeit **im Vergleich zu gängigen Produktnormen** mit Verweis auf Datenfitting an durchgeführte Bauteilversuche **begründet** werden. Diese Hinweise wären sicher auch hilfreich bei der Überarbeitung des bestehenden EC5 bzw. von Produktnormen.
- Die Effizienz des **Nachweises der Klebefuge** gemäß ON B 1995-1-1 sollte u.U. durch Angabe eines erweiterten Sets an Materialkennwerten im Rahmen der ETA ergänzt werden.
- Vereinfachungsmöglichkeiten für die manuelle Nachweisführung sollten durchaus auch weiterhin möglich sein, jedoch immer auf der sicheren Seite liegen.

## 7.2 Empfehlung an den EC5

In folgendem Kapitel werden die Empfehlungen an den EC5 mit Bezug auf folgende Aspekte zusammengestellt:

### 7.2.1 Kriechverhalten, Durchbrüche, Auflagersituationen, Stabilität

- Der Eigenspannungszustand, der speziell auch aus **Umlagerungen durch Kriechens** resultiert (siehe **Abb. 16**), spielt eine maßgebende Rolle beim Spannungsnachweis im Querschnitt im Laufe der Zeit (siehe **Abb. 17**). Die Methode mittels reduzierter Steifigkeiten gemäß EC5 stellt speziell bei Hybridquerschnitten mit auch nur zwei Holzwerkstoffen und heterogenem Kriechverhalten keine vernünftige Methode zur Spannungsermittlung dar, da die Verbundfuge bei Anwendung mechanischer Verbindungsmittel eine weitere Quelle für erhöhte Kriechverformungen darstellt.
- Aus obiger Erkenntnis wird die Erweiterung, durch eine alternative Modellbildung vom **Kriechen mittels eingprägter Dehnungen/Krümmungen** empfohlen. Die wesentlichen Vorteile dieser Methode liegen im geringen Bemessungsaufwand und dem Entfall baustatisch nicht überlagerbarer Abminderungen von Bauteilsteifigkeiten.
- Das aktuelle Bemessungskonzept mittels reduzierter finaler Steifigkeiten gemäß EC5 sollte daher als vereinfachte Methode mit eingeschränktem Anwendungsspektrum für die Hybridquerschnitte **in den Anhang verschoben** werden.

- Ebenso erwünscht sind Regelungen im EC5 mit Bezug auf die **Bemessung mit Grenzschnittgrößen** von den Trägern mit Hybridquerschnitten, um das Risiko fehlerhafter Eigeninterpretation durch Zulassungsstellen zu reduzieren.
- Die Nachweise der erhöhten Querkzugspannungen, bzw. der erhöhten Biegerandspannung an einem Durchbruch gemäß ON B 1995, Anhang F beziehen sich nur auf Holzwerkstoffe aus Vollholz. Aus diesem Grund ist eine Erweiterung der **Bemessungsregeln für Durchbrüche für alle Holzwerkstoffe** erforderlich.
- Aufgrund der größer werdenden Anforderung nach Verwendung von Holzverbundquerschnitten mit schmalen Stegen aus OSB ist die Notwendigkeit von **Interaktionsbedingungen auch für OSB** bei Scheibenbeanspruchung im baupraktischer Hinsicht sehr interessant in Analogie zu Erkenntnissen mit Vollholz bei zeitgleicher Beanspruchung durch Schub- und Querspannungen.
- Die **Nachweisführung für Auflagersituationen** ist aktuell im Rahmen des EC5 auf Rechteckquerschnitte aus Voll- und Brettschichtholz beschränkt. Mögliche Erweiterung der Nachweisführung auch auf Hybridquerschnitte mit dünnen Stegen ist sehr geboten in Erweiterung der aktuell vorliegenden Nachweisformate im Kontext von Biege- und Schubspannungsnachweisen).
- Die Praxis der vereinfachten **Beulnachweise** ausschließlich aufgrund geometrischer Bedingungen in Analogie zu Querschnittsklassen im Stahlbau hat sich bewährt. Bei Stegbeulen sollte neben Biegedruck und Schub als Ursache für Beulerscheinungen auch dem vertikalem Querdruck mehr Beachtung geschenkt werden.
- Der normativ verankerte **Kippnachweise** nach dem Ersatzstabverfahren mittels  $k_{crit}$  sollte alternativ vereinfacht auch mittels  $k_c$  (= **Biegeknicken des Gurtes aus der Ebene**) möglich gemacht werden. Der nicht konstante Verlauf der Gurtnormalkraft erfordert allerdings auch Empfehlungen zur vereinfachten Bestimmung einer äquivalenten Knicklänge z.B. für gedrückte Untergurte im Umfeld von Mittelaufleger.

## 7.3 Empfehlung für Software-Entwickler

### 7.3.1 Software von Produkthersteller

- Nachweisketten sollten zum Zweck der Prüfung von statischen Nachweisführungen immer offengelegt werden. Eine **vollständige und ausführliche Beschreibung der Nachweisformate** inklusiv Formeln und Bemessungswerten im Kontext bestehender Normen und tatsächlicher Mechanik muss Bestandteil jedes Ausdruckprotokolles sein.
- Mögliche **Einflüsse der Bauteilsteifigkeiten auf Systemberechnungen** wie z.B. bei Mehrfeldträger mit nachgiebigen Lagerungen auf Wechselträgern sollen mit Eingaben verschiedenen Auflagersituationen leicht und schnell modellierbar sein.
- Im **Hintergrund der Software** sollte anstelle starrer Formeln auf Basis von Tabellenkalkulation immer ein Berechnungskern einer Systemstatik-Software stehen, um die Flexibilität baupraktischer Anforderungen zuverlässiger berücksichtigen zu können.
- **Bauteilspezifische Bemessungswerkzeuge** sollten grundsätzlich besser in Systemstatik-Software integriert sein, um Optimierungen leichter durchführen zu können.

### 7.3.2 Hersteller von Systemstatik-Software

- Die Modellbildung als Stab und die Nachweisführung mit Hilfe des Zusatzmoduls RF-LIMITS benötigen eine **Erweiterung in Bezug auf die Steifigkeiten**. Dafür sollen nicht nur die Grenzschnittgrößen den Stäben, sondern auch die zugehörigen Querschnittsteifigkeiten aus der Zulassung in die Datenbank mitaufgenommen und in bidirektionalem Datenaustausch zwischen Modul und Hauptsoftware kommuniziert werden.
- Nachteilig erweist sich auch die **fehlende optische Kontrolle der Bauteile**, da nur die Steifigkeiten ohne Querschnittsabmessungen zugeordnet werden können. Möglicherweise könnten ausschließlich Querschnittsabmessungen mit dazugehörigen Materialien und deren Eigenschaften als Eingangsparameter für das Zusatzmodul RF-LIMITS hinterlegt werden.

- Das Ausdruckprotokoll sollte nicht nur den Ausnutzungsgrad der Grenzschnittgrößen enthalten, sondern auch eine **erweiterte Darstellung aller Nachweisketten** z.B. für Stabilität oder Auflagerpressungen mit allen dazugehörigen Formeln und Werten unter Verweisen auf Normen.
- Die Nachweismethode mittels **eingepprägter Dehnungen aus Kriechen** sollte auch bei der Modellbildung als Hybridquerschnitt nachgerüstet werden.
- Eine **Erhöhung der Modellierungstiefe** aus den Angaben der Datenbank auf die Ebene von Hybridquerschnitten oder erweiterter Stab-Flächen-Modelle sollte jederzeit möglich sein, um komplexe Problemstellungen z.B. an Stellen mit konzentrierter Lasteinleitung leichter untersuchen zu können.
- Wünschenswert wäre auch eine **softwaregestützte Bemessung von OSB-Fläche** mit dem Zusatzmodul RF-LAMINATE für den Sonderfall von Einschichtflächen und korrekte Zuordnung von Materialkennwerten als Platte und Scheibe.

## Literaturverzeichnis

- [1] Austrian Standards Institute: *ÖNORM B 1995-1-1:2019 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Konsolidierte Version mit nationalen Festlegungen, nationalen Erläuterungen und nationalen Ergänzungen zur Umsetzung der ÖNORM EN 1995-1-1*
- [2] Austrian Standards Institute: *ÖNORM EN 1995-1-1:2019 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)*
- [3] Austrian Standards Institute: *ÖNORM B 8110-7: 2013 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte*
- [4] Austrian Standards Institute: *ÖNORM EN 12369-1: 2001 Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten*
- [5] Austrian Standards Institute: *ÖNORM EN 12524: 2000 09 01 Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte*
- [6] Austrian Standards Institute: *ÖNORM EN 14374: 2016 Holzbauwerke - Furnierschichtholz (LVL) – Anforderungen*
- [7] Austrian Standards Institute: *ÖNORM EN 1990: 2013 Grundlagen der Tragwerksplanung*
- [8] Austrian Standards Institute: *ÖNORM EN 300: 2006 Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) - Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen*
- [9] European Organisation for Technical Approvals: *European Technical Approval ETA-02/0026 30.06.2018*
- [10] European Organisation for Technical Approvals: *European Technical Approval ETA-02/0026 11.06.2013*
- [11] Helmuth Neuhaus: *Ingenieurholzbau: Grundlagen-Bemessung-Nachweise-Beispiele 4. Auflage*. Springer Vieweg, Münster, 2017.
- [12] MetsäWood: *Finnjoist ® Einfach in der Praxis*. Online unter (Zugriff am 14.10.2019): <https://www.metsawood.com/de/produkte/finnjoist/Pages/Finnjoist.aspx>

## Verwendete Software

- [1] Dlubal, RFEM 5.21.1, <https://www.dlubal.com/de>
- [2] Nemetschek, Allplan 2018-1-10, <https://www.allplan.com/at/>
- [3] METSÄ WOOD Deutschland GmbH, Finnwood 2.4.2 EC 5, <https://www.metsawood.com/de/downloads/Finnwood/Pages/default.aspx>