

**Abbildung A.7.**: Darstellung der Spannungen  $\sigma_x(z)$ ,  $\sigma_z(z)$  bei c/a = 0,5 und  $\tau_{xz}(z)$  bei c/a = 1,0, anhand eines Feldes des Seitenverhältnisses von  $\alpha = 1,0$  und verschiedener Lasteinleitungsverhältnisse c/a. Weiterhin sind die Vorzeichen der jeweiligen Spannungen gegeben. Der besseren Sichtbarkeit wegen sind die Spannungsverläufe  $\sigma_z(z)$  und  $\sigma_z(x)$  mit einem Skalierungsfaktor ( $f_{scale} = 3,0$ ) vergrößert worden.



Abbildung A.8.: Lastausbreitungslänge  $c_u(z)$  in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses  $\alpha$  und des Lasteinleitungsverhältnisses c/a. Ausgewertet ist dies für  $\alpha = 1,25$ ; 1,5; 2,0; 3,0 und c/a = 1/6; 2/6;... 6/6 (siehe dazu (v)).





(b) Imperfectionsamplitude min  $\{a/420, b/420\}$ .

Abbildung A.9.: Ergebnisse der GMNIA-Untersuchung des *Modells C*, mit Verwendung der analytischen Lösung zur Ermittlung des Spannungsverlaufs  $\sigma_z(z)$  und der Lastausbreitung  $c_u(z)$ . Außerdem wurde die kritische Knickspannung  $\sigma_{cr,c}$  ohne die modifizierte Beullänge  $b_{cr}$  berechnet. Dargestellt sind jeweils die Untersuchungen zweier Imperfektionsamplituden. Des Weiteren sind die Ergebnisse aus der Interpolationsfunktion des prEN 1993-1-5 (•) und dem Vorschlag von POUROSTAD (•) abgebildet. (---):  $\pm 10 \%$ -Abweichung.



**Abbildung A.10.:** Ergebnisse der GMNIA-Untersuchung des *Modells C*, mit Verwendung des Ansatzes des **COMBRI-Forschungsprojekts** zur Ermittlung des Spannungsverlaufs  $\sigma_z(z)$  und der Lastausbreitung  $c_u(z)$ . Außerdem wurde die kritische Knickspannung  $\sigma_{cr,c}$  ohne die modifizierte Beullänge  $b_{cr}$  berechnet. Dargestellt sind jeweils die Untersuchungen zweier Imperfektionsamplituden. Des Weiteren sind die Ergebnisse aus der Interpolationsfunktion des prEN 1993-1-5 (•) und dem Vorschlag von POUROSTAD (•) abgebildet. (——):  $LPF_{num} = LPF_{EC}$ . (---):  $\pm 10 \%$ -Abweichung.

## A.3. Anhang zu der Parameterstudie des ausgesteiften Beulfeldes





**Abbildung A.11.:** Teil 1: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **Seitz** und in Abhängigkeit des Interaktionswinkels  $\theta$ . Dargestellt sind:  $\theta = 0^{\circ}$  bis  $40^{\circ}$ . (—):  $LPF_{num} = LPF_{Seitz}$ . (---):  $\pm 10 \%$  -Abweichung.



**Abbildung A.12.:** Teil 2: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **Seitz** und in Abhängigkeit des Interaktionswinkels  $\theta$ . Dargestellt sind:  $\theta = 50^{\circ}$  bis 90°. (----):  $LPF_{num} = LPF_{Seitz}$ . (---):  $\pm 10 \%$  -Abweichung.



Abbildung A.13.: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **Seitz** und in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses  $\alpha$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{Seitz}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.14.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **Seitz** und in Abhängigkeit des Verhältnisses b/t aus Feldbreite b und Stegdicke t. (---):  $LPF_{num} = LPF_{Seitz}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.15.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **Seitz** und in Abhängigkeit des Lasteinleitungsverhältnisses c/a. (---):  $LPF_{num} = LPF_{Seitz}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.16.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des *Gesamtfeldnachweises* im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **Seitz** und in Abhängigkeit der bezogenen Steifigkeit  $\gamma$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{Seitz}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



Abbildung A.17.: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **Seitz** und in Abhängigkeit der Anzahl der Steifen in der Druckzone  $n_{St,D}$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{Seitz}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.18.:** Teil 1: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach dem **BASt-Heft B140** und in Abhängigkeit des Interaktionswinkels  $\theta$ . Dargestellt sind:  $\theta = 0^{\circ}$  bis  $40^{\circ}$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{BASt}$ . (---):  $\pm 10 \%$  -Abweichung.



**Abbildung A.19.:** Teil 2: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des *Gesamtfeld-nachweises* im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach dem **BASt-Heft B140** und in Abhängigkeit des Interaktionswinkels  $\theta$ . Dargestellt sind:  $\theta = 50^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{BASt}$ . (---):  $\pm 10 \%$  -Abweichung.



**Abbildung A.20.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach dem **BASt-Heft B140** und in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses  $\alpha$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{BASt}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.21.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach dem **BASt-Heft B140** und in Abhängigkeit des Verhältnisses b/t aus Feldbreite b und Stegdicke t. (---):  $LPF_{num} = LPF_{BASt}$ . (---):  $\pm 10 \%$  -Abweichung.



**Abbildung A.22.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach dem **BASt-Heft B140** und in Abhängigkeit des Lasteinleitungsverhältnisses c/a. (---):  $LPF_{num} = LPF_{BASt}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.23.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach dem **BASt-Heft B140** und in Abhängigkeit der bezogenen Steifigkeit  $\gamma$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{BASt}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.24.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den Ergebnissen des Längssteifen-Nachweises nach **BASt-Heft B140** und in Abhängigkeit der Anzahl der Steifen in der Druckzone  $n_{St,D}$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{BASt}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



## A.3.2. Anhang zu den Untersuchungen des ausgesteiften Beulfelds (4.2.2)

Abbildung A.25.: Teil 1: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und des Interaktionswinkels  $\theta$ . Dargestellt sind:  $\theta = 0^{\circ}$  bis 40°. Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (-----), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0.8$  (------) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} = 0.4563$  eines geschlossenen Steifenquerschnitts (-----).



**Abbildung A.26.:** Teil 2: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und des Interaktionswinkels  $\theta$ . Dargestellt sind:  $\theta = 50^{\circ}$  bis 90°. Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (—), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0.8$  (—) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} = 0.4563$  eines geschlossenen Steifenquerschnitts (—).



**Abbildung A.27.:** Teil 1: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den nach prEN 1993-1-5 ermittelten Werten  $(LPF_{EC})$  und in Abhängigkeit des Interaktionswinkels. Dargestellt sind:  $\theta = 0^{\circ}$  bis 40°. (----):  $LPF_{num} = LPF_{EC}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.28.:** Teil 2: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den nach prEN 1993-1-5 ermittelten Werten  $(LPF_{EC})$  und in Abhängigkeit des Interaktionswinkels. Dargestellt sind:  $\theta = 50^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{EC}$ . (---):  $\pm 10 \%$  -Abweichung.



Abbildung A.29.: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und des Seitenverhältnisses  $\alpha$ . Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (-----), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0.8$  (------) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} = 0.4563$  eines geschlossenen Steifenquerschnitts (---------).



**Abbildung A.30.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den nach prEN 1993-1-5 ermittelten Werten  $(LPF_{EC})$  und in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses  $\alpha$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{EC}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



Abbildung A.31.: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und des Verhältnisses b/t aus Feldbreite b und Stegdicke t. Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (—), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0.8$ (—) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} = 0.4563$  eines geschlossenen Steifenquerschnitts (—).



**Abbildung A.32.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises im Vergleich mit den nach prEN 1993-1-5 ermittelten Werten  $(LPF_{EC})$  und in Abhängigkeit des Verhältnisses b/t, aus Feldbreite b und Stegdicke t. (---):  $LPF_{num} = LPF_{EC}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



**Abbildung A.33.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und der bezogenen Steifigkeit  $\gamma$ . Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (—), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0.8$  (—) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} = 0.4563$  eines geschlossenen Steifenquerschnitts (—).



**Abbildung A.34.:** Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des *Gesamtfeldnachweises* im Vergleich mit den nach prEN 1993-1-5 ermittelten Werten  $(LPF_{EC})$  und in Abhängigkeit der bezogenen Steifigkeit  $\gamma$ . (---):  $LPF_{num} = LPF_{EC}$ . (---):  $\pm 10$  % -Abweichung.



Abbildung A.35.: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und des Seitenverhältnisses  $\alpha$  bei  $\theta = 90^{\circ}$ . Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (-----), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0.8$  (---------) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} = 0.4563$  eines geschlossenen Steifenquerschnitts (----------).



Abbildung A.36.: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und der bezogenen Steifigkeit  $\gamma$  bei  $\theta = 90^{\circ}$ . Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (------), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0.8$  (----------) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} = 0.4563$  eines geschlossenen Steifenquerschnitts (-----------).



Abbildung A.37.: Laststeigerungsfaktoren  $LPF_{num}$  der numerischen Ergebnisse des Gesamtfeldnachweises in Abhängigkeit der Schlankheit  $\bar{\lambda}_p$  und der Anzahl der Steifen in der Druckzone  $n_{St,D}$  bei  $\theta = 90^{\circ}$ . Weiterhin sind dargestellt: Die Winterkurve (------), die Abminderungskurve nach prEN 1993-1-5 Abschn. 12.4(5) mit  $\bar{\lambda}_p = 0,8$  (--------) und die Abminderungskurve  $\chi_c(\bar{\lambda}_p)$  nach DIN EN 1993-1-1 Abschn. 6.3.1.2 mit  $\alpha_{e,max} =$ 0,4563 eines geschlossenen Steifenquerschnitts (--------).



A.3.3. Anhang zu der Ermittlung des Vergrößerungsfaktors  $f_{\lambda}$  bzw. Vergrößerungsfunktion  $f_{\lambda}(\bar{\lambda}_p)$  (4.2.3)





Abbildung A.40.: Verteilung der Vergrößerungsfaktoren  $f_{\lambda}$  in Abhängigkeit des Lasteinleitungsverhältnisses c/a bei  $\theta = 90^{\circ}$ . Die Gerade (------) markiert  $f_{\lambda} = 1,0$ .





Abbildung A.42.: Verteilung der Vergrößerungsfaktoren  $f_{\lambda}$  in Abhängigkeit der Anzahl der Steifen in der Druckzone  $n_{St,D}$  bei  $\theta = 90^{\circ}$ . Die Gerade (------) markiert  $f_{\lambda} = 1,0$ .



**Abbildung A.43.:** Verteilung der Vergrößerungsfaktoren  $f_{\lambda}$  (•) in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses  $\alpha$ , des Lasteinleitungsverhältnisses c/a und der bezogenen Gesamtsteifigkeit  $\Gamma_{St}$ . Für c/a = 0,25 ist eine Näherung der Verteilung in Abhängigkeit von  $\alpha$  gegeben (—). Für c/a = 1,0 sind die Werte mit einem konstanten Faktor angegeben (—). Bei c/a = 0,5 und 0,75 ist die Funktion 4.22 für die jeweiligen Schnitte ausgewertet.