



Software für Statik und Dynamik

www.dlubal.com



Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hörold
Organisator

Marketing & Public Relations
Dlubal Software GmbH



Dr.-Ing. Jonas Bien
Co-Organisator

Product Engineering & Customer Support
Dlubal Software GmbH

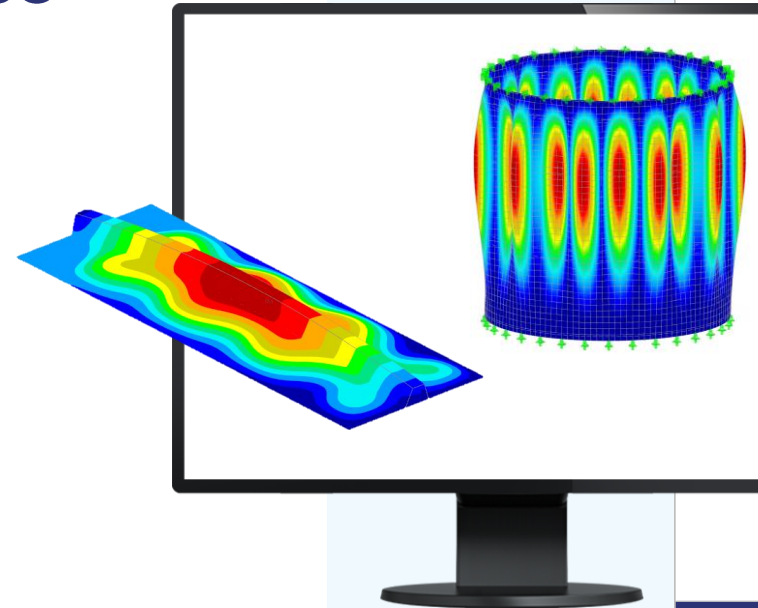


Dipl.-Ing. Oliver Metzkes
Co-Organisator

Product Engineering & Customer Support
Dlubal Software GmbH

Webinar

Beulnachweise in RFEM 6



Fragen während der Präsentation



GoToTraining-Bedienpanel Desktop



E-Mail: info@dlubal.com



Bedienpanel ein- oder ausblenden

Audioeinstellungen anpassen

Fragen stellen

Audio

Sound Check ?

Computer-Audio
 Telefonanruf

STUMMGESCHALTET

Mikrofon (Plantronics C310)

Lautsprecher (Plantronics C310)

Sprecher: Andreas Hörold

Fragen

[Frage an Mitarbeiter eingeben]

Senden

Webinar-ID: 109-458-163

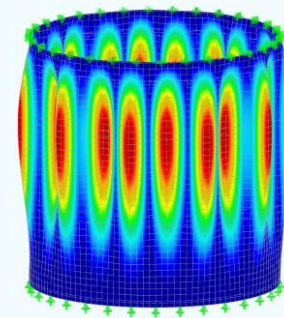
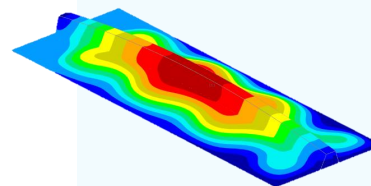
GoToWebinar



INHALT

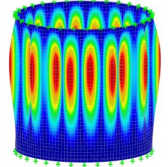
01 Nachweise für Schalenbeulen mittels globaler MNA- und LBA-Berechnung nach EN 1993-1-6 mit Hilfe von RFEM

02 Nachweise für Plattenbeulen mittels GMNIA-Methode nach EN 1993-1-5





Beulsicherheitsnachweise stählerner Schalentragwerke nach EN 1993-1-6



Spannungsbasierter Beulsicherheitsnachweis

- Einfache Anwendung für fachkundigen Ingenieur
- Geringe Anforderungen an Rechentechnik (häufig werden Handrechenformeln angewendet)
- Bei erheblich von den klassischen Beulformen abweichenden Belastungssituationen sind kaum wirtschaftliche Ergebnisse zu erreichen

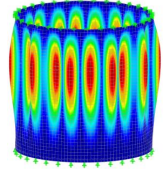
Numerisch gestützter Beulsicherheitsnachweis mittels globaler MNA/LBA-Berechnung

- Mehr Hintergrundwissen zur Schalenstabilität erforderlich
- Höhere Anforderungen an Rechentechnik (materiell nichtlineare Berechnung (MNA), elastische Verzweigungsanalyse (LBA))
- Konsequente Nutzung der Rechentechnik mittels FE-Analyse

Numerisch gestützter Beulsicherheitsnachweis mittels globaler GMNIA-Berechnung

- Hervorragendes Hintergrundwissen zur Schalenstabilität notwendig (z. B. korrekter Ansatz von Imperfektionen (Vorbeulmuster) ist komplex)
- Erhebliche Anforderungen an Rechentechnik

Beispiel: Numerisch gestützter MNA/LBA-Beulsicherheitsnachweis nach [3]



Technische Daten

Flüssigkeit: $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$

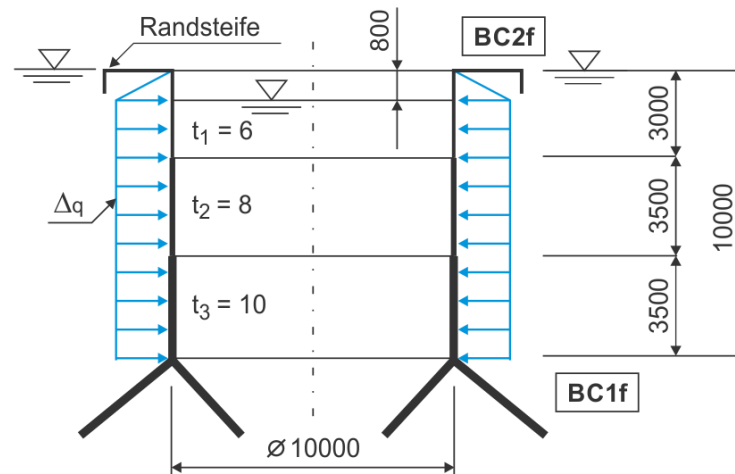
Werkstoff: S 235

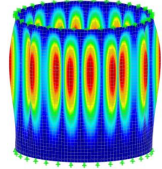
Herstellerqualität: Klasse A

Einwirkung (1,0 x Differenzdruck)

$\Delta q_d = 8,0 \text{ kN/m}^2$

System





Nachweis

Bezogener idealer Beulwiderstand

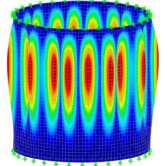
$$r_{Rcr} = 1,504 \text{ (FE-Eigenwertanalyse (LBA) in RFEM)}$$

Bezogener plastischer Referenzwiderstand ([2], Gl. 8.24)

$$r_{Rpl} = t \cdot f_{yk} / \sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed}n_{\theta,Ed} + n_{\theta,Ed}^2 + 3n_{x\theta,Ed}^2}$$

Der niedrigste auf diese Weise berechnete Wert sollte als Schätzwert für den plastischen Referenzwiderstand r_{Rpl} verwendet werden.

ANMERKUNG: Ein sicherer Schätzwert für r_{Rpl} lässt sich üblicherweise ermitteln, indem man die Gleichung (8.24) sukzessive auf die drei Punkte der Schale anwendet, an denen jede der drei beulrelevanten Membranschnittgrößen ihren Höchstwert erreicht, und den niedrigsten dieser drei Schätzwerte als maßgebenden Wert für r_{Rpl} verwendet. [2]



Nachweis

$$r_{Rpl} = 35,97 \text{ (Materiell Nichtlineare Analyse (MNA in RFEM))}$$

Bezogener Schlankheitsgrad ([2], Gl. 8.25)

$$\bar{\lambda}_{ov} = \sqrt{r_{Rpl}/r_{Rcr}}$$

$$\bar{\lambda}_{ov} = \sqrt{35,97/1,504}$$

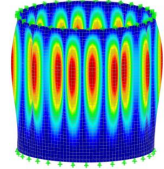
$$\bar{\lambda}_{ov} = 4,89$$

Elastischer Imperfektions-Abminderungsfaktor für Umfangsbeulen ([2], Tab. D.5)

$$\alpha_{ov} = \alpha_{\theta} = 0,75$$

Plastischer Bereichsfaktor ([2], D.26)

$$\beta = 0,60$$



Nachweis

Teilplastischer Grenzschlankheitsgrad ([2], Gl. 8.16)

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\alpha/(1 - \beta)}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{0,75/0,40}$$

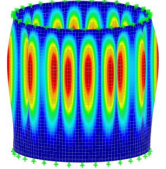
$$\bar{\lambda}_p = 1,37 \ll 4,89 \rightarrow \text{rein elastisches Beulen}$$

Beulabminderungsfaktor ([2], Gl. 8.15)

$$\chi_{ov} = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2}$$

$$\chi_{ov} = 0,75/4,89^2$$

$$\chi_{ov} = 0,0314$$



Nachweis

Bezogener charakteristischer Beulwiderstand ([2], Gl. 8.26)

$$r_{Rk} = \chi_{ov} \cdot r_{Rpl}$$

$$r_{Rk} = 0,0314 \cdot 35,97$$

$$r_{Rk} = 1,129$$

Bezogener Bemessungsbeulwiderstand ([2], Gl. 8.27)

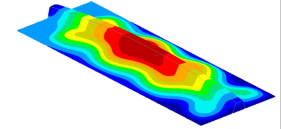
$$r_{Rd} = r_{Rk} / \gamma_{M1}$$

$$r_{Rd} = 1,129 / 1,1$$

$$r_{Rd} = 1,03 > 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

[→ Weiteres Beispiel in der Knowledge Base](#)

Beispiel: (Beul-)Nachweis einer ausgesteiften Platte mittels GMNIA



Platte

Werkstoff: S 355

Blechdicke: $t = 14 \text{ mm}$

Spannungen Platte

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 21,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = 1,0 \text{ kN/cm}^2$$

Trapezsteife (mittig)

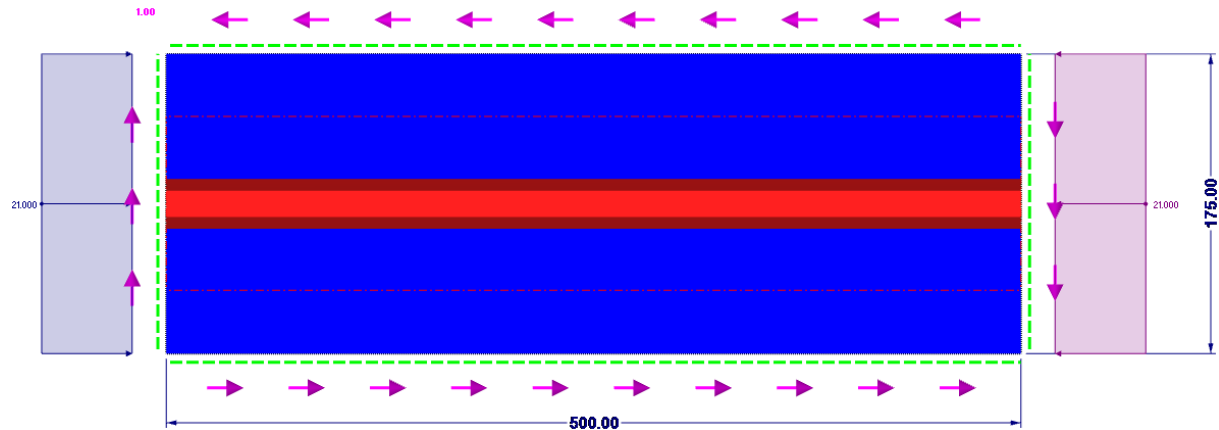
Werkstoff: S 355

$h = 200 \text{ mm}$

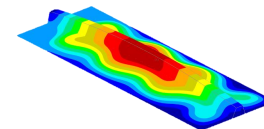
$b_u/b_o = 300 \text{ mm} / 150 \text{ mm}$

$t = 6 \text{ mm}$

System



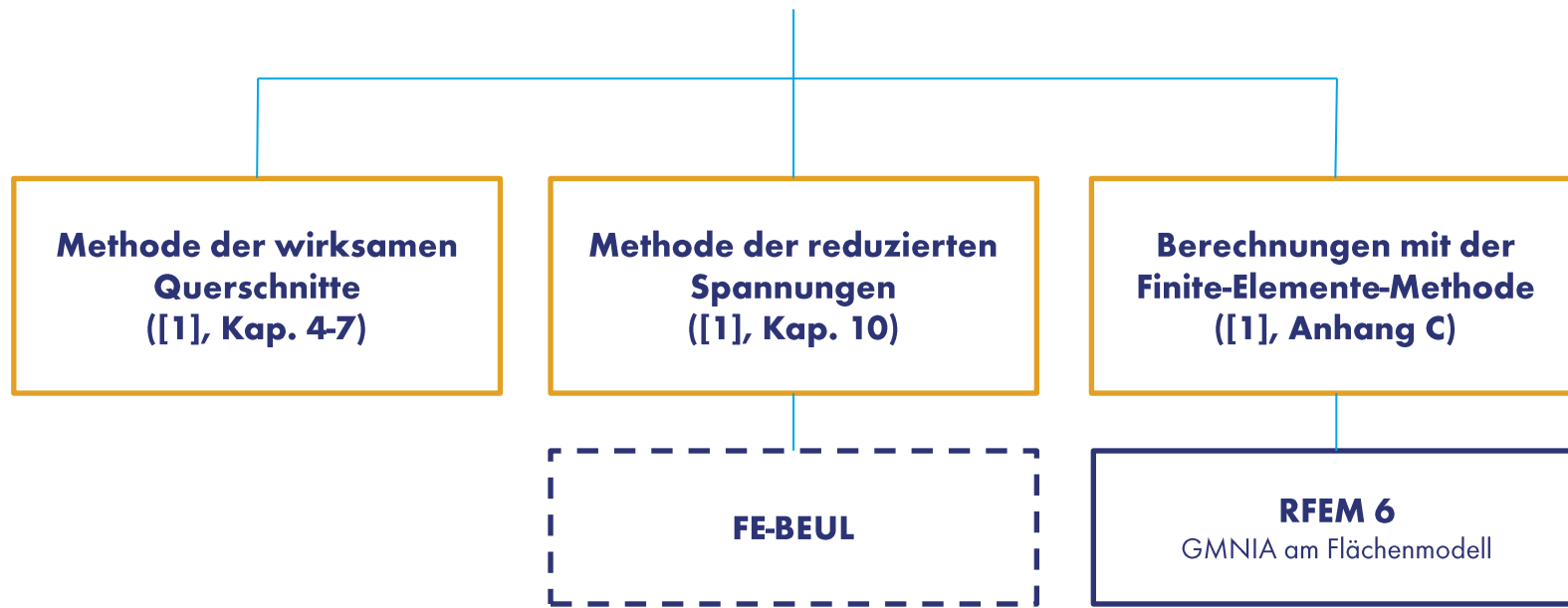
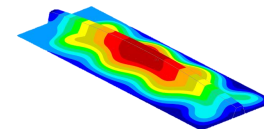
Was zeichnet eine GMNIA aus?



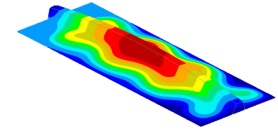
Berechnungsart	Verformungen	Materialgesetz	Geometrie
Lineare elastische Berechnung (LA)	linear	linear elastisch	perfekt
Lineare Berechnung des Verzweigungszustandes (LBA)	Eigenform	linear elastisch	perfekt
Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)	linear	elastisch-plastisch	perfekt
Geometrisch nichtlineare Berechnung (GNA)	nichtlinear	linear elastisch	perfekt
Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA)	nichtlinear	nichtlinear	perfekt
Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung mit Imperfektionen (GNIA)	nichtlinear	linear elastisch	imperfekt
Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA)	nichtlinear	nichtlinear	imperfekt



Beulsicherheitsnachweise stählerner Platten nach EN 1993-1-5:2019

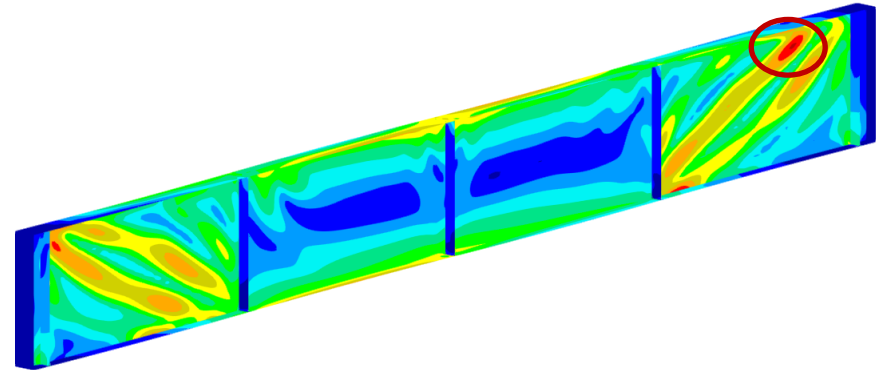
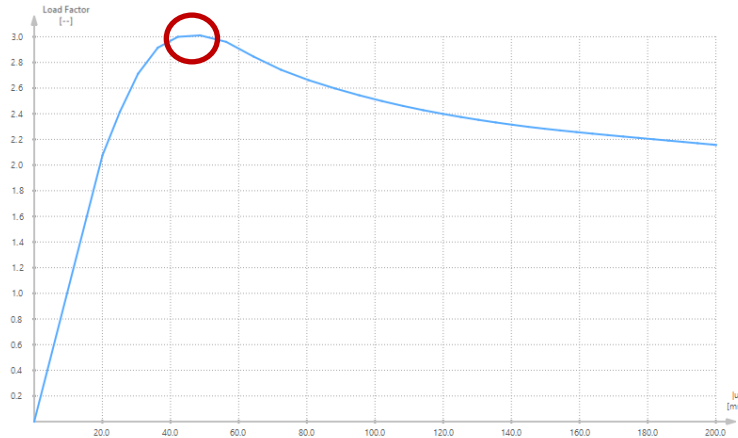


Grenzzustände und Nachweisformat



Erreichen des Maximums der Last-
Verformungskurve $\alpha_{u,1}$

Erreichen eines Maximalwertes (5%) der
Hauptmembrandehnung $\alpha_{u,2}$



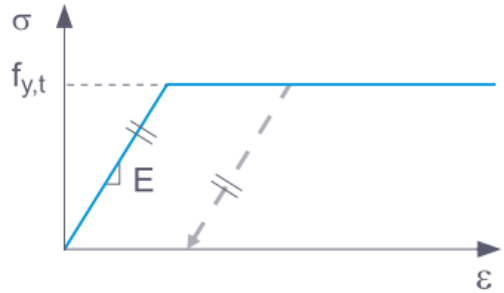
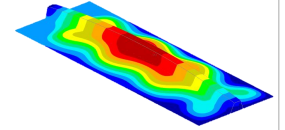
$$\min(\alpha_{u,1}, \alpha_{u,2}) = \alpha_u > \alpha_1 \alpha_2$$



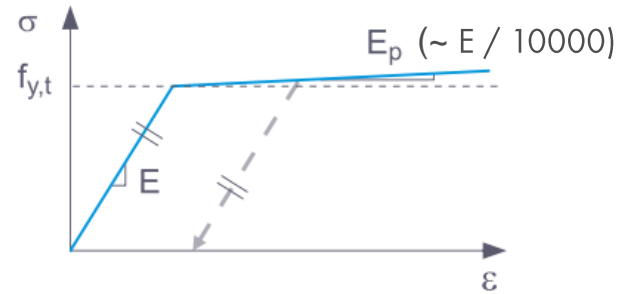
Modellunsicherheit
Empfehlung NA: $\alpha_1 = 1,05$

Ungenauigkeiten des Belastungs- und des Widerstandsmodells:
Empfehlung: γ_{M1} wenn Stabilität bzw. γ_{M2} wenn Werkstoffversagen maßgebend

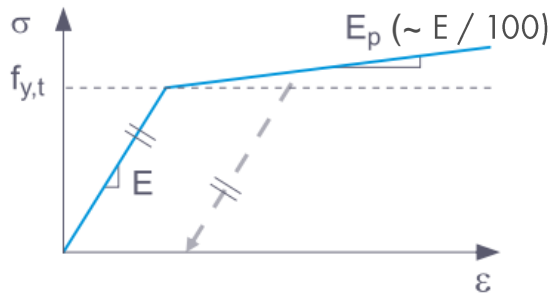
Nichtlineare Materialmodelle



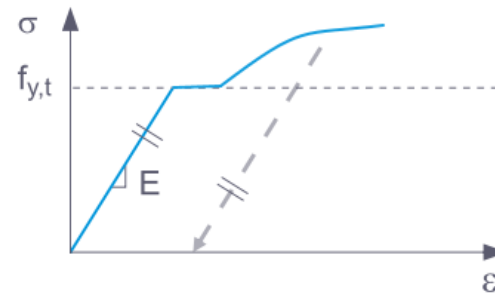
a) Ideal elastisch-plastisch



b) Elastisch-plastisch mit Pseudoverfestigung

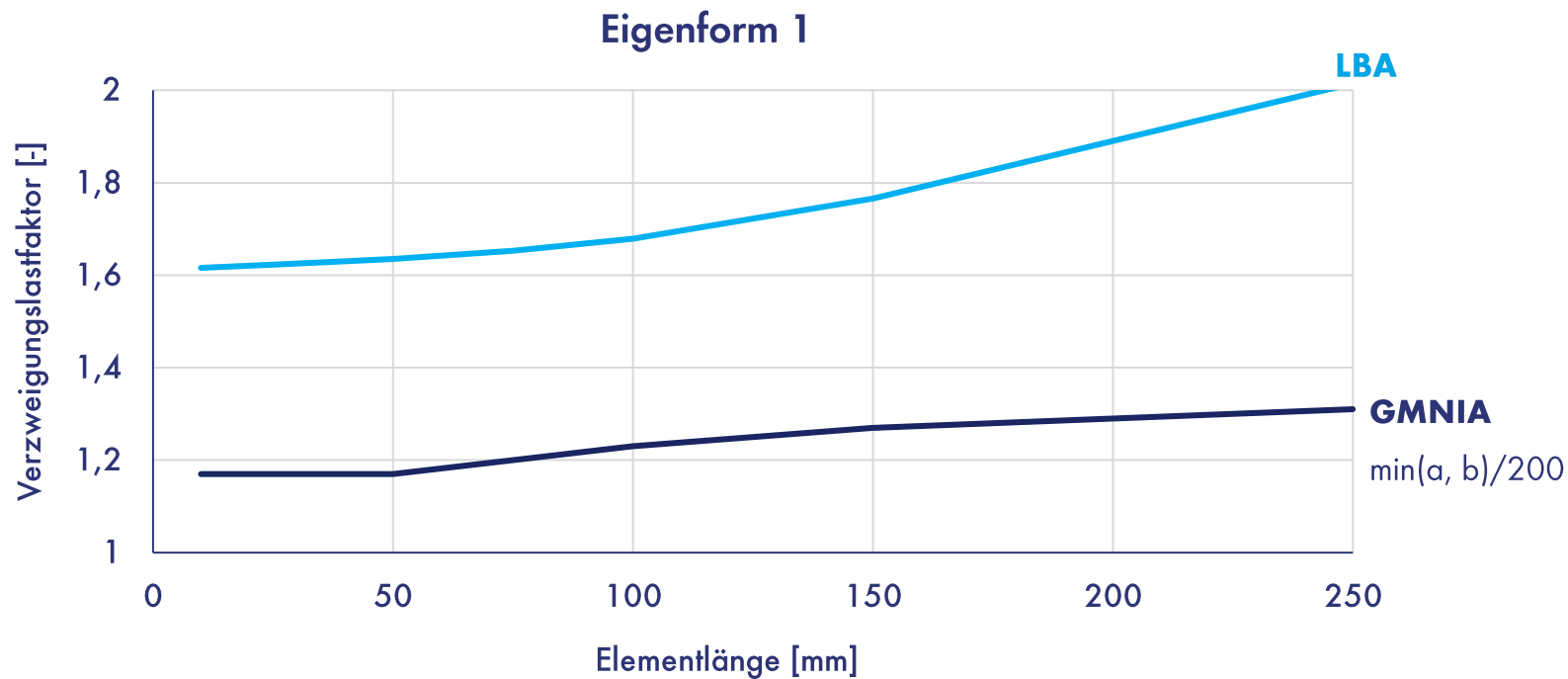
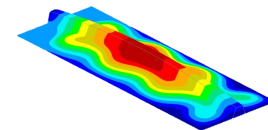


c) Elastisch-plastisch mit linearer Verfestigung

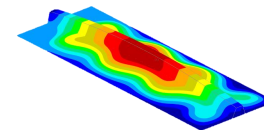


d) Wahre Spannungs-Dehnungs-Kurve

Einfluss der Netzweite



Imperfektionen



Imperfektionsansatz	Bauteil	Form	Amplitude
global, Längssteife der Länge a		Bogen	$\min(a, b) / 400$
lokal, Teil-/Einzelfeld		Beulform	$\min(a, b) / 200$

Ausblick

Edit Blocks

No. 2 Name PST002

Main Structure Categorization JavaScript

List

- 1 PST001
- 2 PST002
- 3 PST003

Parameters

Geometry

- Panel

Length of buckling panel	a	4.000	m
Width of buckling panel	b	3.000	m
Side ratio	a	1.333	--
- Stiffeners

Number of stiffeners	n	2	
----------------------	---	---	--
- Stiffener 1

Position from top	z1	0.800	m
Position from left	c1	0.200	m
Position from right	d1	0.200	m
Section		1 - 2LLHU(A) L 150x100x10 /310 1 - ...	
Arrangement		Left	
- Stiffener 2

Position from top	z2	1.900	m
Position from left	c2	0.200	m
Position from right	d2	0.200	m
Section		1 - 2LLHU(A) L 150x100x10 /310 1 - ...	
Arrangement		Left	

Material & Thickness

- Panel

	1 - Uniform d: 15.0 mm 1 - S235
--	-------------------------------------

Boundary Conditions

Line supports

- Bottom edge

	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Lines: 1-8,11-14) Hb--
--	---
- Top edge

	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Lines: 1-8,11-14) Hb--
--	---
- Left edge

	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Lines: 1-8,11-14) Hb--
--	---
- Right edge

	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Lines: 1-8,11-14) Hb--
--	---

Nodal supports

- Support 1

	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Nodes: 1,2,5,6,13,14--)
--	--
- Support 2

	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Nodes: 1,2,5,6,13,14--)
--	--

Loads

Boundary stresses

-

Boundary stresses

Load case

- LC1 - Self weight

Normal stresses | In x-direction

- Normal stress | Top

$\sigma_{x,1}$	100.000	N/mm ²
----------------	---------	-------------------
- Normal stress | Bottom

$\sigma_{x,2}$	100.000	N/mm ²
----------------	---------	-------------------
- Edge stress ratio

ψ_x	1.000	--
----------	-------	----

Shear stress

- Shear stress

τ	50.000	N/mm ²
--------	--------	-------------------

Normal stress | In z-direction

- Normal stress | Left

$\sigma_{z,1}$	100.000	N/mm ²
----------------	---------	-------------------
- Normal stress | Right

$\sigma_{z,2}$	100.000	N/mm ²
----------------	---------	-------------------
- Edge stress ratio

ψ_z	1.000	--
----------	-------	----

OK Cancel Apply

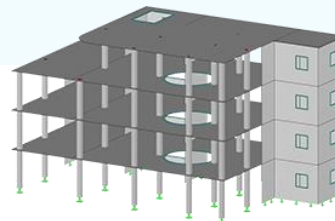


Literaturverzeichnis

- [1] EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.
- [2] EN 1993-1-6: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.
- [3] Schmidt H.: Beulsicherheitsnachweise für Schalen nach dem neuen Eurocode EN 1993-1-6 – Ein Überblick mit Beispielen aus der Anwendungspraxis, Referat beim 27. Stahlbau-Seminar in Neu-Ulm und Wien, 2005

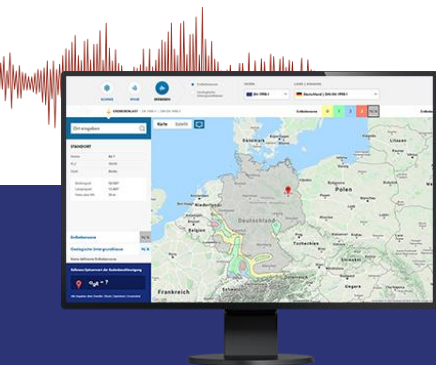


Kostenlose Online-Dienste



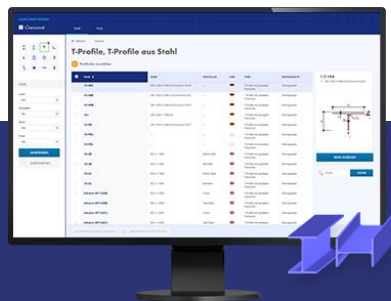
Geo-Zonen-Tool

Dlubal Software bietet ein Online-Tool zur Ermittlung der charakteristischen Lastwerte der entsprechenden Lastzone an.



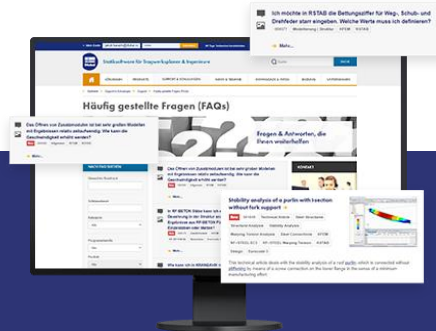
Querschnittswerte

Das kostenfreie Online-Tool ermöglicht, aus einer umfangreichen Profildatenbank Standardprofile auszuwählen oder parametrisierte Querschnitte zu definieren und deren Querschnittswerte zu berechnen.



FAQs & Knowledge Base

Schauen Sie sich die häufig gestellten Fragen an unser Support-Team sowie die hilfreichen Tipps und Tricks in unseren Fachbeiträgen an, um Ihre Arbeit effizienter zu gestalten.



Modelle zum Herunterladen

Hier finden Sie eine Vielzahl an Beispieldateien, die Sie beim Einstieg in die Dlubal-Programme bzw. bei deren Anwendung unterstützen.

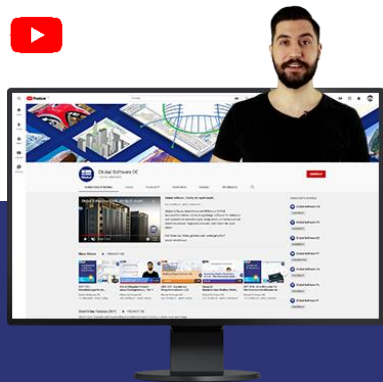




Kostenlose Online-Dienste

Youtube-Kanal - Webinare, Videos

Sehen Sie sich die Videos und Webinare zur Statiksoftware von Dlubal an.



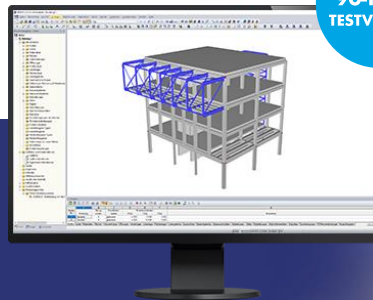
Webshop mit Preisen

Erstellen Sie Ihr individuelles Softwarepaket und sehen Sie alle Preise online!



Testversionen

Sie lernen am besten, wie Sie mit unseren Programmen umgehen, indem Sie sie einfach selbst testen. Laden Sie sich die 90-Tage-Testversion unserer Statikprogramme herunter.



90-TAGE-
TESTVERSION



Kostenloser Support per E-Mail und Live-Chat



Hier finden Sie weitere Informationen zu Dlubal Software



Besuchen Sie unsere
Webseite

www.dlubal.com

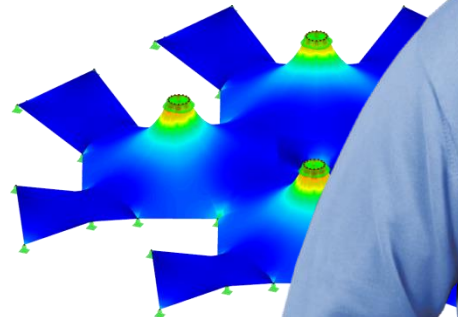
- Videos und aufgezeichnete Webinare
- Newsletter
- Veranstaltungen und Messen/Seminare
- Knowledge Base-Artikel



Sehen Sie den
Einsatz von
Dlubal Software
in einem
Webinar



Kostenlose
Testversion
herunterladen



Dlubal Software GmbH
Am Zellweg 2, 93464 Tiefenbach
Germany

Telefon: +49 9673 9203-0
E-Mail: info@dlubal.com



www.dlubal.com